

2723

J3 =



TRAITÉ COMPLET
THÉORIQUE ET PRATIQUE
DE LA
FABRICATION DE L'ALCOOL
ET DES LEVURES

LILLE. — IMP. LE BIGOT FRÈRES.

*À mon excellent collègue, M. Meynier,
ingénieur-électricien, professeur à l'Institut Industriel
d'origine de l'auteur.*

G. Dejonghe

TRAITÉ COMPLET

THÉORIQUE ET PRATIQUE

DE LA

Fabrication de l'Alcool

ET DES LEVURES

PAR

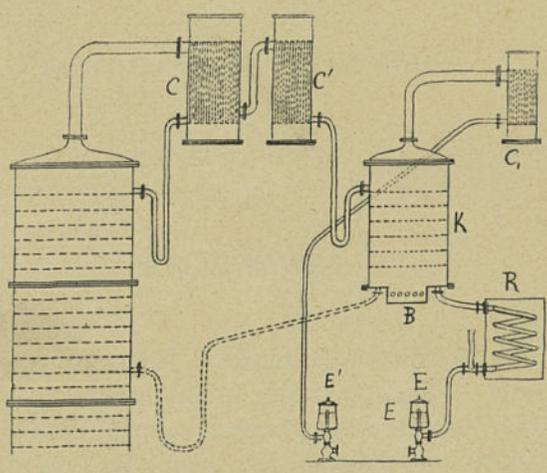
Gaston DEJONGHE

INGÉNIEUR CIVIL

EX-CHEF DE FABRICATION DE PLUSIEURS GRANDES DISTILLERIES
PROFESSEUR A L'INSTITUT INDUSTRIEL DU NORD

TOME II

Avec 216 gravures dans le texte.



LILLE

IMPRIMERIE TYPOGRAPHIQUE ET LITHOGRAPHIQUE LE BIGOT FRÈRES

68, Rue Nationale, 25, rue Nicolas-Leblanc

1901

TRAITE COMPLET

THEORIQUE ET PRACTIQUE

Fabrication de l'Alcool

ET DES LEVURES

PAR M. DEBROU

PROPRIÉTÉ DE L'AUTEUR

Ingénieur à Cantelcu-Lambersart (Nord)

TRAITÉ COMPLET

Théorique et pratique

DE LA

FABRICATION DE L'ALCOOL ET DES LEVURES⁽¹⁾

PAR

GASTON DEJONGHE

Ingénieur civil

LIVRE IV

Ferments et Fermentations

PRÉLIMINAIRES

349. Maintenant que nous connaissons la nature et le mode de préparation des principaux moûts produits dans la fabrication de l'alcool, nous allons étudier comment on transforme les sucres de ces moûts en alcool. L'opération par laquelle cette transformation se fait est la fermentation. Avant d'étudier séparément la fermentation de chaque espèce particulière de moûts, nous examinerons ce phénomène d'une façon générale.

(1) Tous droits réservés.

Le mot fermentation vient du verbe latin *fervere*, bouillir. C'est sur les jus de raisin que la fermentation a été d'abord observée et que l'on a constaté le bouillonnement produit par le dégagement rapide de bulles gazeuses. Le soulèvement de la pâte de pain additionnée de *levain* reçut également le nom de fermentation. En somme, on appliqua ce nom à tout phénomène où il se produisait spontanément un dégagement gazeux, sans cause apparente, contrairement à ce qui a lieu quand on porte un liquide à l'ébullition ou quand on verse un acide sur la craie.

Ce n'est qu'à une époque beaucoup plus récente que l'on donna également le nom de fermentation à des phénomènes d'un autre genre, où des corps se modifiaient aussi spontanément en apparence, mais sans production de gaz, de mousse, et sans boursoufflement. Comme exemple de ces dernières, on peut citer l'acétification du vin, la saccharification de l'amidon par le malt.

Dans la fermentation alcoolique, ce qui a toujours frappé l'imagination de l'homme, c'est cette ébullition spontanée, sans cause apparente. De nos jours encore, quand un homme sans aucune notion scientifique pénètre dans une usine où on lui montre une fermentation industrielle en pleine activité, il est frappé par ce phénomène, et il cherche instinctivement du regard le foyer qui porte le liquide à l'ébullition !

Dans la fermentation acétique du vin, la saccharification du malt, l'aspect extérieur du phénomène est complètement différent, puisqu'il n'y a aucun dégagement de gaz ; la seule analogie réside en apparence dans la spontanéité de la réaction.

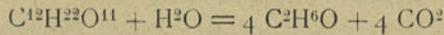
CHAPITRE XXI

Fermentation alcoolique

350. La fermentation alcoolique fut la première l'objet d'une étude sérieuse. En appliquant à l'étude de la fermentation la balance, qui avait servi à renouveler la face de la chimie, Lavoisier arriva à la conclusion que le sucre se dédouble simplement en alcool et en acide carbonique. Gay-Lussac ayant trouvé la formule de la composition du sucre, chercha si cette formule s'accommodait d'une dislocation, d'un dédoublement en alcool et acide carbonique, et il

posa la formule $C^6H^{12}O^6 = 2 C^2H^6O + 2 CO^2$. Dans la conviction que Lavoisier avait tout à fait raison, dit M. Duclaux (1), Gay-Lussac n'hésita même pas à donner ce qu'on appelle vulgairement un *coup de pousse*, et à modifier de 2 à 3 o/o les nombres que lui avait fournis l'expérience, pour les faire entrer dans le cadre hypothétique tracé par Lavoisier.

Partie d'une expérience inexacte, appuyée sur les chiffres volontairement faussés d'une analyse, l'idée de Lavoisier n'en faisait pas moins son chemin, à cause de sa simplicité. Elle rencontra naturellement encore plus de créance, quand Dumas et Boullay firent observer, en 1828, que l'on faisait disparaître toute incorrection dans l'interprétation de Gay-Lussac, en admettant que le sucre candi s'assimile les éléments d'une molécule d'eau avant d'être saisi par la fermentation alcoolique. On peut donc écrire, en toute sécurité et en toute sincérité l'équation suivante :



Mais la levure qu'on était obligé d'ajouter pour provoquer la fermentation disparaissait de cette interprétation. Déjà en 1680, Leuwenhœck, ayant examiné la levure au microscope, avait attiré l'attention sur la forme régulière des globules de la levure. Cette observation, confirmée par Desmazières en 1825, et renouvelée en 1835, à peu près simultanément, en Allemagne, par Kützing et Schwann, en France, par Cagniard-Latour, fit reconnaître la nature végétale de la levure et son rôle dans la fermentation.

Depuis les remarquables travaux de Pasteur, on a généralement admis jusqu'ici que la fermentation alcoolique est un phénomène biologique, c'est-à-dire lié à l'existence d'un être organisé et vivant, que l'on désigne sous le nom de ferment ou de levûre. Sous l'influence de ce ferment, le sucre est décomposé en plusieurs produits, dont les deux principaux sont l'alcool et l'acide carbonique.

Les travaux tout récents de Buchner ont établi que ce dédoublement est produit par un ferment soluble, la *zymase alcoolique*, que sécrète la levure, en sorte que la fermentation n'est un acte biologique qu'en tant que la levure produit cette zymase. Pasteur a démontré que quand la fermentation alcoolique est produite par la levure, il se forme toujours, en dehors de l'alcool et de l'acide carbonique, d'autres produits, en sorte que l'équation de Gay-Lussac est dans ce cas loin d'être exacte ; au contraire, Buchner

(1) Traité de Microbiologie. Tome I. Masson, 1898.

a reconnu que quand la fermentation est produite par la zymase alcoolique retirée de la levure, les quantités d'alcool et d'acide carbonique produites aux dépens du saccharose, correspondent à très peu près à l'équation de Gay-Lussac.

La première question qui se pose et dont nous voulons dire quelques mots avant d'entrer dans une étude détaillée, est celle-ci : Quelle est l'origine de ce ferment organisé et vivant qui provoque la décomposition du sucre ? A cela on peut aujourd'hui répondre sans hésiter : ce ferment est à l'état de germes dans l'air.

Si l'on abandonne à l'air un moût sucré quelconque, on le voit au bout d'un certain temps entrer en fermentation. C'est la fermentation spontanée, celle qui se produit sans l'addition apparente d'aucun ferment : elle est très fréquente dans la nature et se produit toujours plus ou moins dans les fermentations industrielles, où elle est à éviter avec le plus grand soin.

L'air est le véhicule d'une quantité innombrable de germes de toute sorte, qui se développent dès qu'ils rencontrent un milieu favorable : aussi l'air joue-t-il un rôle considérable dans les industries de la fermentation, autant et même plus par les germes qu'il renferme que par son action directe sur les ferments en activité.

C'est par la fermentation spontanée que les hommes ont d'abord appris à faire le vin, puis la bière. De nos jours encore, c'est généralement ainsi que l'on prépare le vin, le cidre, la plupart des vins de fruits divers et les moûts fermentés servant à la fabrication du rhum. L'acidité naturelle de ces liquides favorise le ferment alcoolique aux dépens d'autres ferments qui tendent également à se développer.

Pour la bière, la chose est différente. Le moût d'orge, fort riche en azote et ne contenant que des traces d'acidité, convient très bien au développement de la levure ; mais il est encore plus avantageux à la nutrition des ferments lactiques et butyriques qui accompagnent les germes de levure dans l'air et qui sont très gloutons de matières azotées.

Dans la plupart des distilleries allemandes on soumet à une fermentation spontanée acide le moût dans lequel on développe ensuite le ferment alcoolique ; cette acidification spontanée se fait à la température de 50° C, à laquelle le ferment acide que l'on veut mettre en activité, le ferment lactique, se développe presque seul.

Or, dans les temps primitifs, les hommes en abandonnant leur

moût d'orge à la fermentation alcoolique spontanée, n'obtenaient souvent qu'une boisson fort acide et très peu alcoolique, parce que les ferments lactique et butyrique se développaient en même temps que le ferment alcoolique ; aussi eurent-ils l'idée plus tard de récolter la levure qui se dépose au fond du liquide après la fermentation, de la laver à l'eau et de s'en servir pour les opérations suivantes.

Un pas considérable était fait. L'addition du houblon qui renferme une résine constituant un antiseptique énergique, et l'ébullition prolongée du moût après saccharification, produisant la stérilisation, contribuèrent puissamment à la production d'une meilleure fermentation.

Par ces cultures successives, on peut obtenir, en y mettant beaucoup de soins de propreté, une levure plus ou moins pure et possédant certaines qualités ; c'est ainsi qu'on a obtenu, par ce procédé primitif de culture et de sélection, appliqué pendant des siècles, la plupart des levures employées encore actuellement dans la majeure partie des brasseries, des fabriques de levures et des distilleries de grains. « Les brasseurs ont ainsi fait, depuis la plus haute antiquité, dit Percy Frankland, de la bactériologie pratique, aussi inconsciemment que M. Jourdain faisait de la prose. »

Depuis une dizaine d'années, grâce aux travaux de Pasteur, Hansen, etc..., on a introduit en brasserie, surtout dans celles qui travaillent par fermentation basse, des levures obtenues par des procédés perfectionnés de culture et de sélection. En distillerie, on a pendant fort longtemps employé presque exclusivement, surtout en France, les levures de brasserie pour la mise en fermentation ; c'est seulement depuis peu que l'usage de levures spécialement préparées par des procédés spéciaux et scientifiques commence à se répandre.

Nous avons un peu insisté sur la question des fermentations spontanées, parce qu'elles se produisent toujours plus ou moins à côté de la fermentation provoquée par le ferment spécial que l'on ajoute à son moût. Elles se produisent d'autant plus, que le fermentensemencé est moins actif, que l'air environnant et les vases dans lesquels on opère sont plus infestés, que le moût est moins favorable au ferment dont on se sert et qu'il est plus favorable au développement des ferments étrangers. Ce sont les ferments provenant de l'air (levures sauvages et bactéries) qui obligent à renouveler fréquemment les levures dans les brasseries et les distilleries. Nous reviendrons plus tard sur ce sujet.

351. *Génération spontanée.* — Il ne faut pas se méprendre sur le terme fermentation spontanée et surtout ne pas la confondre avec la *génération spontanée* qui est une pure chimère.

Ce fut Pasteur qui démontra, par des expériences décisives, que la levure provenait des germes qui se trouvent en suspension dans l'atmosphère et à la surface des fruits. Pasteur combattit avec énergie les doctrines d'après lesquelles la levure *naissait* spontanément par la transformation des matières albuminoïdes au contact de l'air, doctrines connues sous le nom de *génération spontanée* et complètement abandonnées aujourd'hui.

352. *Microorganismes qui produisent la fermentation alcoolique.* — La fermentation alcoolique peut être produite par un grand nombre d'organismes : levure, moisissures, etc...; mais ce sont les levures qui ont la spécialité de cette transformation. Cependant tous les organismes que nous désignerons sous le nom de levures ne sont pas propres à la fermentation alcoolique; il en existe beaucoup d'espèces qui ne peuvent produire la scission du sucre

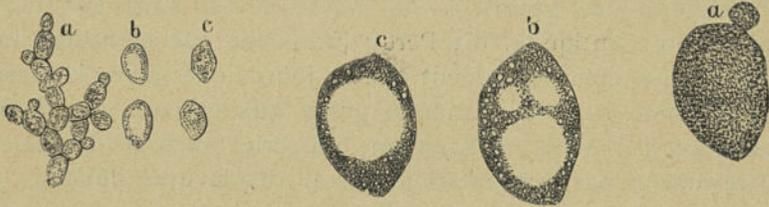


Fig. 178. — Cellules de levure.

en acide carbonique et alcool, tout au plus peuvent-elles s'assimiler ce composé et l'utiliser à l'édification de leurs tissus. Si, malgré cela, nous laissons ces levures parmi les saccharomyces (gr. saccharon, sucre; mucés, champignon = champignon du sucre), c'est en raison de l'analogie qu'ils présentent au point de vue de leur constitution et de leur mode de reproduction avec les représentants typiques de ce groupe, qui comprend les levures de brasserie, de distillerie et de vinification.

Ensemencées dans un liquide nutritif, les levures se reproduisent presque exclusivement par bourgeonnement. La cellule-mère produit en un point de sa surface un renflement (fig. 178) qui prend peu à peu la forme et la grosseur de la cellule-mère. Au point d'attache, il se forme une petite membrane qui, lors de la séparation de la cellule-fille, se divise également, en sorte que le bourgeonnement est suivi d'une scission.

On a donné aux champignons qui se reproduisent ainsi le nom de *Blastomycètes* ; les levures qui se reproduisent par bourgeonnement sont donc des *Blasto-saccharomyces* (gr. blaste, bourgeon) (fig. 179).



Fig. 179. — Cellules de levure.

Quelques espèces de levures se reproduisent aussi par simple cloisonnement et scission ; on les appelle des *Schizo-saccharomyces* (gr. schizein, couper) : tels sont le *Sacch Ludwigii*, découvert par Ludwig dans le mucilage du chêne vivant, facile à reconnaître par un simple examen microscopique ; le *Schizo-saccharomyces octosporus* de Beyerinck, découvert par lui sur de vieilles corinthes de Zante ; le *Schizo-saccharomyces* de Pombe, découvert dans la bière de Millet par Saare.

Un autre mode de reproduction est celui par sporulation,

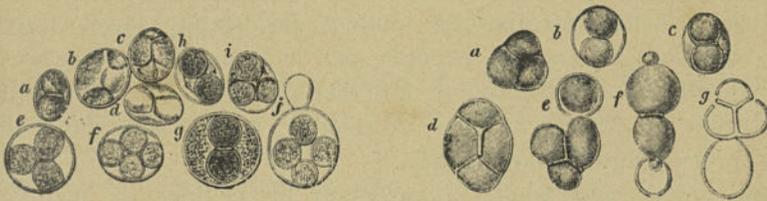


Fig. 180 et 181. — Reproduction des levures par sporulation.

découvert par Rees en 1870. Le protoplasme de la cellule s'assemble en plusieurs globules sphériques, demi-sphériques ou en forme de rognons (fig. 180 et 181) qui s'entourent d'une enveloppe pour constituer des cellules indépendantes.

Il existe un grand nombre d'espèces de levures pour lesquelles on n'a pu encore démontrer la formation des spores ; pour d'autres, elle est difficile à provoquer ; d'autres enfin en produisent rapidement en grand nombre.

En cultivant certaines espèces de levures sporogènes pendant longtemps à des températures élevées, Hansen a pu produire des variétés asporogènes, c'est-à-dire ne formant plus de spores. Bien évidemment, on ne peut pas pour cela leur retirer le nom de *Saccharomyces*.

Dans ces derniers temps, Hansen a fait une étude comparative de la germination des spores des différents *Saccharomyces*, et il a trouvé que, pour la plupart des levures, après un gonflement préalable, les spores se mettent directement à bourgeonner. Il n'y a d'exception que pour le *S. Ludwigii*, qui forme d'abord un tube germinatif dont il se détache par bourgeonnement une cellule qui se met également à bourgeonner.

353. *Constitution de la levure.* — Comparativement aux autres champignons inférieurs, les levures présentent une organisation beaucoup plus simple ; elles sont généralement unicellulaires, c'est-à-dire formées par une membrane en forme d'outre, dans laquelle se trouve du protoplasme ; il est rare qu'il s'y produit des cloisons transversales ou qu'elles poussent de longs filaments comme les moisissures, du moins les espèces ordinaires. Quand on tue la levure, le contenu de la cellule se contracte et l'on voit distinctement l'enveloppe.

Une conséquence de cette simplicité de constitution est que le microscope seul ne peut servir à distinguer les différentes espèces de levures. Chaque espèce peut produire des cellules rondes, elliptiques, allongées en massues, filiformes, etc.

Dans la cellule on aperçoit souvent des parties claires et arrondies, qui sont les espaces occupés par le liquide cellulaire et que l'on appelle vacuoles. Elles se montrent surtout dans des cellules parvenues au terme de leur croissance, notamment dans celles conservées longtemps sous l'eau.

Des observations toutes récentes sur les cellules de levure ont été faites par Hyéronymus. En examinant la levure pressée à un grossissement de 5000 diamètres, il trouva un protoplasme paraissant d'aspect complètement homogène, dans lequel se trouvaient de nombreux petits granules solides plus ou moins anguleux. La plupart des cellules présentaient un ou plusieurs vacuoles qui, en outre du liquide cellulaire, renfermaient parfois un granule ana-

logue à ceux du protoplasme, mais plus gros ; il était même parfois, surtout dans les cellules très vieilles, fort gros et présentait la forme d'un cube. Ces granulations sont solubles dans les lessives de potasse, mais très difficilement. Hiéronymus trouva que la levure végétant dans une solution de dextrose ne présentait que fort peu de granulations, tandis qu'elle en présentait beaucoup en végétant dans une solution de saccharose ou de lactose.

354. *Coloration des cellules.* — Les cellules de levures vivantes n'absorbent pas les couleurs d'aniline ; au contraire, le protoplasme des cellules mortes possède un pouvoir absorbant considérable pour les colorants.

Pour déceler les cellules mortes on se sert généralement du bleu de méthylène, mais aussi de n'importe quel colorant à base d'aniline, comme la fuchsine, le violet de gentiane, le bleu Bismarck, etc.

Si la cellule morte renferme des spores, il faut un temps plus long pour que celles-ci se soient imprégnées du colorant. Mais autant elles absorbent difficilement la matière colorante, autant elles la retiennent énergiquement.

On peut, par un dissolvant convenable, glycérine, alcool ou acides faibles, décolorer complètement le contenu de la cellule à l'exception des spores qui restent colorées. Si l'on fait ensuite agir une autre solution colorante, on obtient une double coloration dans laquelle les spores conservent la première couleur.

Comme, par l'emploi des colorants, les cellules de levure subissent des modifications de forme et de dimensions, l'obtention de ces préparations convenables ne présente la plupart du temps que peu d'intérêt. *Les plus petits détails sont masqués par la matière colorante, quand ils ne sont pas préalablement effacés par le resserrement de la cellule.*

355. *Durée de la vie des cellules de levures.* — On n'a jusqu'ici publié que fort peu de choses sur ce sujet. A l'état sec, les cellules peuvent rester vivantes des mois et des années. Dans les liquides elles meurent généralement plus vite ; et quand on dit que dans des liquides fermentés très anciens on trouve encore des cellules vivantes, il ne faudrait pas croire que celles-ci fussent aussi vieilles que la cellule elle-même : celles qui vivent encore se sont développées beaucoup plus tard.

Souvent les plus jeunes cellules ont d'abord succombé ; de plus vieilles, qui étaient presque vides, peuvent de nouveau se

remplir de protoplasme et se rajeunir complètement, puis donner encore un grand nombre de cellules filles. Les causes d'un dépérissement soudain de jeunes cellules en présence d'un liquide favorable à leur nutrition et à leur croissance sont encore à l'état d'énigmes. De même, on ignore encore d'où il vient que de nombreuses cellules ne produisent qu'une prolifération insignifiante, tandis que d'autres produisent dans une seule goutte du même moût des milliers de cellules-filles. La preuve que cela tient à la constitution des cellules et non à des changements survenus dans le moût, c'est que si l'on transporte quelques cellules de cette dernière goutte dans la première, il se produit immédiatement un bourgeonnement qui conduit au même nombre de cellules que précédemment.

Dans d'autres cas, on a observé qu'une cellule présentant toutes les apparences de la santé, ne donnait aucun bourgeon, ou que des cellules en voie de prolifération cessaient, après quelques jours, de bourgeonner, puis se remettaient à proliférer énergiquement en un endroit du chapelet de cellules paraissant malade, comme si l'organisme avait enduré une maladie et se remettait à l'œuvre avec une force vitale doublée.

Quelquefois on cherche à tuer des cellules de levures ; on peut alors employer le chlorure de chaux à raison de 3 k. à 3 k. 5 par hecto d'eau ou le bisulfite de chaux (sulfite acide de calcium), à raison de 1 kilo du produit commercial dans 6 litres d'eau.

L'acide borique a sur la levure une action toute spéciale découverte par Will. Si sur la levure légèrement humide, on verse une solution d'acide borique à 7 %, les cellules se réunissent immédiatement en petites boulettes formant des sortes de grappes qui se déposent immédiatement par agitation ; après un temps assez long la levure devient complètement blanche. Cette levure ne se laisse que très difficilement répartir dans l'eau, parce que les petites pelottes tiennent fortement l'une à l'autre ; en l'étendant sur des plaques de plâtre, on la dessèche et on obtient une masse friable se réduisant facilement en poudre fine quand on la frotte entre les doigts.

356. *Formes des cellules de levures.* — Nous avons dit que pour chaque espèce de levure la forme de la cellule peut varier. Il y a cependant certaines formes qui se présentent très souvent chez une espèce et fort rarement chez une autre.

Pour les levures de bière cultivées, la forme typique est ovoïde; pour les levures de vin, elle est ellipsoïdale (fig. 182), les levures de la fermentation *consécutive* des bières sont ellipsoïdales

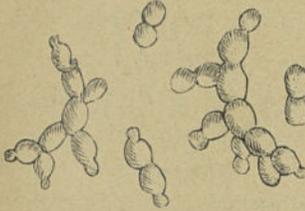


Fig. 182. — *S. ellipsoïdens*
(levure de vin).



Fig. 183.
S. Pastorianus.

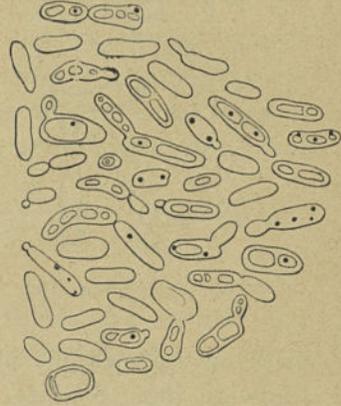


Fig. 184.
Saccharomyces mycoderma.

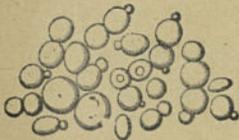


Fig. 185. — *Torula*.



Fig. 186. — *Saccharomyces exiguus*.

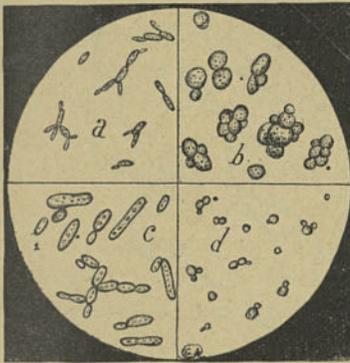


Fig. 187.

- a. *Saccharomyces exiguus* de Reen.
- b. *S. conglomeratus*.
- c. *S. mycoderma*.
- d. *S. minor*.

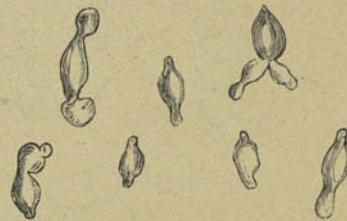


Fig. 188.

Saccharomyces apiculatus.

ou allongées (*pastorianus* fig. 183); les mycodermes présentent souvent la forme de poteau indicateur (fig. 184). Les torula (formes-levures ou fausses levures) sont le plus généralement sphériques (fig. 185). Les espèces désignées sous le nom d'*exiguus* (qui existent notamment, d'après Hansen, dans les levures pressées) contiennent presque uniquement de très petites cellules (fig. 186 et 187). Le

Saccharomyces apiculatus (fig. 188) présente des cellules ayant la forme spéciale du citron ; son nom lui vient de deux petits appen-

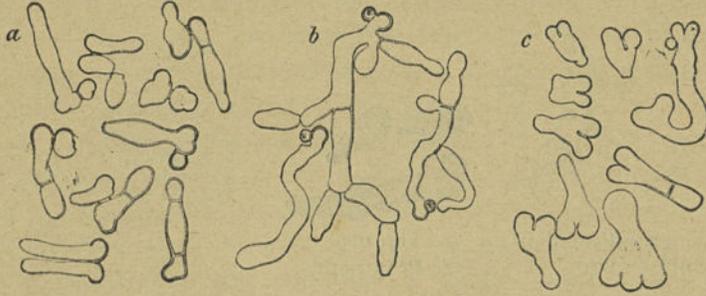


Fig. 189. — *Saccharomyces Ludwigii* (1).

dices ou apicules que présente chaque cellule. Le *Saccharomyces Ludwigii* (fig. 189), les *Saccharomyces octosporus* (fig. 190) et le

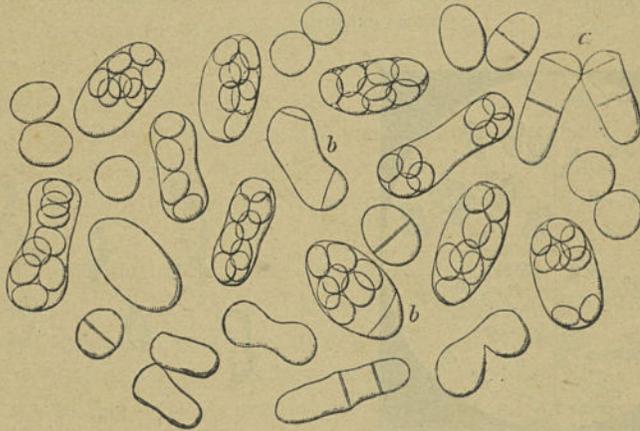


Fig. 190. — *Saccharomyces octosporus* (Jörgensen).

Schizo-saccharomyces de Pombe présentent les formes de l'oidium, etc.

(1) Jörgensen. — Les microorganismes de la fermentation, traduction française de M. Paul Freund. Société d'Éditions Scientifiques, 4, rue Antoine-Dubois, Paris.

Diverses espèces de levures

357. Une classification remplissant toutes les conditions voulues pour être systématique, n'existe pas encore ; nos connaissances relatives aux liens de parenté des diverses levures entre elles et des levures avec les autres groupes de microorganismes étant encore trop imparfaites.

On peut distinguer les levures en deux grandes catégories :

1^o Les *levures cultivées*, comprenant toutes celles qui sont usitées en brasserie, distillerie, fabrication de la levure pressée.

2^o Les *levures sauvages*, comprenant toutes les levures qui accompagnent les précédentes, qu'elles prennent part ou non à la décomposition du sucre.

Toutes les levures cultivées forment des spores endogènes et sont par conséquent de vrais *Saccharomyces* dans le sens botanique. Parmi les levures sauvages, les unes forment des ascospores et les autres pas ; elles comprennent par conséquent les vrais *Saccharomyces* et les pseudo-*Saccharomyces*.

Nous avons dit que les levures peuvent, dans certaines conditions, perdre la faculté de former des spores ; cette propriété ne peut donc pas servir de base à une classification. D'autre part, Beijerinck a annoncé que le *Saccharomyces apiculatus*, auquel on n'a pu faire produire de spores jusqu'ici, en produit réellement dans la nature.

Krieger a proposé de réserver le nom de *Saccharomyces* aux *blastomycètes* (champignons bourgeonnants) qui peuvent produire une décomposition du sucre en alcool et acide carbonique assez intense pour être utilisée en industrie ou en physiologie. L'ancienne définition d'après laquelle tous les ferments alcooliques sont des *Saccharomyces* devrait, d'après cet auteur, être restreinte depuis qu'on sait que d'autres microbes (le bacille typhique et le *Bacterium coli*, par exemple) et même de simples cellules végétales, peuvent également former de l'alcool aux dépens du sucre.

Les champignons bourgeonnants (*blastomycètes*) non producteurs d'alcools sont encore trop peu connus pour être soumis à une classification. Pasteur donne le nom de *torula* (fig. 185) à des *blastomycètes* qui ne produisent que peu d'alcool dans les mouts de bière ; ils ne forment qu'environ 1 pour cent d'alcool

dans ces moûts, parce qu'ils ne fermentent que les hexoses (dextrose, lévulose, invertose) qui accompagnent le maltose.

D'après Hansen, les torula fermentent les solutions de dextrose aussi facilement que les autres levures alcooliques. Certaines espèces renferment de la sucrase et peuvent par suite fermenter le saccharose.

On peut classer les pseudo-Saccharomyces à peu près comme suit :

A. — *Ceux qui ne sécrètent pas de sucrase.* — Blastomycètes qui ne fermentent que les hexoses (dextrose, levulose, invertose) : Tels sont le *S. apiculatus* et les blastomycètes que Hansen appelle torula et qui ne peuvent fermenter les disaccharides ou hémobioses (saccharose, maltose, lactose), mais fermentent le dextrosé et l'invertose.

B. *Ceux qui sécrètent de la sucrase.* — a) Blastomycètes qui renferment de l'invertine et pas de maltose. Le maltose ne fermente qu'après inversion. Tels sont les *Saccharomyces marxianus*, *exiguus*, *Ludwigii*, ainsi que les torula désignées par Hansen sous les numéros 4 et 6.

b) Blastomycètes à sucrase, qui, outre les hexoses, fermentent le maltose et l'isomaltose.

Ce groupe comprend toutes les levures sauvages étudiées par Hansen et qui ne sont pas comprises dans les groupes précédents.

Levures cultivées

338. D'après les caractères extérieurs qu'elles manifestent dans la fermentation, on peut distinguer les levures cultivées en levures hautes et levures basses.

Les levures basses ne produisent qu'une légère écume pauvre en levure, tandis que les levures hautes donnent une mousse riche en levure et qui peut former un véritable chapeau. Dans la fermentation basse, la presque totalité de la levure s'assemble au fond du vase, tandis que dans la fermentation haute on peut récolter à la fois une levure de chapeau et une levure de dépôt. Mais il existe aussi des races qui ne donnent que peu de levure de chapeau ; elles forment le trait d'union entre les deux précédentes.

On croyait primitivement que les différences observées dans

les fermentations haute et basse dépendaient des différences de températures auxquelles les levures exerçaient leur action, d'autant plus qu'on avait observé que par de basses températures, le chapeau produit par la levure haute était moins prononcé.

En opérant avec des levures pures, dans les conditions usuelles de la pratique, on ne réussit pas à obtenir avec une levure basse le chapeau caractéristique des fermentations hautes, même par les températures usitées dans ces dernières fermentations. Une brasserie de Berlin travaille depuis de nombreuses années avec deux levures, l'une haute et l'autre basse, dans la même cave, avec le même moût et à la même température; et on n'a jamais observé aucun changement dans les caractères de la fermentation basse: la mousse est toujours très pauvre en levure, contrairement à celle de la fermentation avec levure haute.

D'autre part, il y a des brasseries qui depuis des années fermentent à basse température avec des levures hautes, et la levure a toujours jusqu'ici conservé son caractère de levure haute: le chapeau présente la consistance de la levure.

Le groupe des levures hautes et celui des levures basses comprennent chacun un certain nombre d'espèces.

Suivant ses propriétés spéciales, une levure est employée avantageusement en brasserie, en distillerie ou dans la fabrication de la levure pressée. En brasserie, il importe d'obtenir un liquide ayant un goût agréable et qui se clarifie bien: en distillerie, il faut une fermentation rapide et un grand rendement en alcool; enfin, dans la fabrication de la levure pressée, il faut un grand rendement en levure, d'une grande puissance végétative. Aucun brasseur par fermentation haute n'oserait ensemer ses mûts avec de la levure pressée de distillerie, qui est cependant une levure haute; de même le fabricant de levure pressée ne s'avisera pas d'employer de la levure de brasserie.

En distillerie, comme en brasserie, on se sert actuellement de levure haute et de levure basse; mais avec cette différence qu'en brasserie les deux espèces appartiennent au même genre *S. cerevisiæ*, tandis qu'en distillerie les levures basses employées sont uniquement des levures de vin (*S. ellipsoïdeus*).

L'introduction des levures cultivées de vin dans l'industrie est encore de date trop récente pour qu'on puisse songer à les classer.

Comme levures de brasserie, les levures hautes étant les seules qui nous intéressent, nous en dirons quelques mots.

En brasserie, on distingue les levures à forte et celles à faible

atténuation ; ces différences proviennent de l'action des levures sur les différents sucres contenus dans les moûts. Les levures à faible atténuation ne fermentent pas certains sucres qui sont encore attaqués par celles à forte atténuation.

A. Bau, étendant aux levures hautes une classification d'abord adoptée par les levures basses, les divise en deux types, Saaz et Froberg. Les deux types, placés dans de bonnes conditions, fermentent complètement le dextrose, le lévulose, le saccharose et le maltose. Ils dédoublent le raffinose ou méltriose en lévulose et mélibiose dont ils ne fermentent que la lévulose. Le lactose et les dextrans sont infermentescibles par eux. Mais le type Froberg décompose certaines malto-dextrans ou amyloïnes (combinaisons de dextrine et de maltose (69) que n'attaque pas le type Saaz.

M. Van Laer a récemment ajouté un troisième type aux deux précédents, le type Logos, qui pousse l'atténuation notablement plus loin que le type Froberg et même que le type Burton.

Cette classification a été faite en opérant sur des moûts privés d'amylase par l'ébullition ; c'est un cas qu'on rencontre rarement en distillerie ; mais de légères différences persistent même en présence de l'amylase. Il est d'ailleurs toujours préférable d'avoir des levures qui peuvent pousser la fermentation jusqu'au bout, même dans le cas où l'amylase viendrait à être altérée.

En faisant fermenter à 30° C un moût de bière avec ces différentes levures et polarisant après fermentation dans un tube de 100 mm., M. Van Laer a obtenu les résultats suivants :

MOÛT PRIVÉ D'AMYLASE PAR L'ÉBULLITION

MOÛT PRIMITIF.	AVEC LEVURE SAAZ.	AVEC LEVURE FROBERG.	AVEC LEVURE LOGOS.	AVEC LEVURE BURTON.
36,0	16,8	12,8	8,8	12,0
39,0	18,2	14,0	10,0	»
44,6	17,2	11,6	9,6	»

MOÛT AMYLASÉ (NON BOUILLI)

44,6	2,77	2,32	1,71	»
------	------	------	------	---

Les levures *cultivées* se reproduisent toutes par bourgeonnement. La cellule fille aussitôt détachée peut bourgeonner à son tour, tandis que la cellule mère produit de nouveaux bourgeons. Une même cellule *peut* ainsi bourgeonner indéfiniment, pourvu que la solution renferme tous les principes nécessaires à sa prolifération; il arrive cependant que celle-ci s'arrête sans cause apparente, comme nous l'avons vu plus haut. La reproduction de la levure est tellement rapide que, suivant la température, en 1/2 heure ou 1/4 d'heure, il peut se produire une cellule fille qui se met à bourgeonner à son tour; quelques cellules suffisent pour envahir dans l'espace de quelques jours un grand volume de liquide. Dans les conditions les plus favorables, la levure pourrait, d'après certaines expériences, décomposer en une heure, un poids de sucre égal à 1,67 fois son propre poids et fournir 0,85 de son poids en alcool.

Le mode de reproduction par spores, découvert par Rees, fut soigneusement étudié par ce savant, et le premier résultat de cette étude fut de prouver que la levure de bière et la levure de vin étaient complètement différentes, et que la levure des bières hautes formait une espèce différente de la levure des bières basses. Les études de Rees furent continuées par celles de Brefeld et d'Engel, et le mode de reproduction par ascospores devint, entre les mains de Hansen, la base d'une méthode d'analyse morphologique et de séparation des levures.

La formation des ascospores a lieu quand on interrompt brusquement la végétation de la levure; ces spores assurent la conservation de l'espace, d'où le nom de spores de conservation (all. Dauersporen). Les levures sauvages forment généralement leurs ascospores plus rapidement que les levures cultivées, ce qui paraît logique, les levures sauvages ayant une existence plus précaire qui les met fréquemment dans l'impossibilité de se développer. D'une race à l'autre, le temps nécessaire pour la formation des ascospores est fort différent. Pour une même race, ce temps varie aussi beaucoup avec la température, en sorte qu'il faut avoir soin de se placer exactement dans les mêmes conditions.

359. *Formation des voiles.* — Vient-on à abandonner au libre contact de l'air un liquide dont la fermentation est achevée, il se forme sur la surface immobile de petites taches de levure qui s'épaississent et finissent par occuper toute la surface, sous forme d'un voile continu gris-jaune, mucilagineux. Si l'on remue fortement

le liquide, cette peau gagne le fond du vase, et bientôt toute la surface est à nouveau couverte d'une formation analogue.

En examinant au microscope une petite parcelle de ce voile, comparativement avec la levure déposée au fond du vase, on trouve que les cellules présentent un aspect tout différent de celles de la levure. Elles ont une tendance à s'allonger considérablement, et elles présentent des formes caractéristiques qui varient beaucoup avec les espèces de levures. Ce phénomène a d'abord été observé sur les *Mycoderma cerevisiæ* et *vini* qui sont des organismes fortement aérobies.



Fig. 191. — Levure haute anglaise (Hansen).

a. Formes observées dans les dépôts. — b. Formes observées dans les voiles.
c. Vieilles cultures de voiles.

Hansen a le premier démontré que ces cellules allongées des voiles constituent une forme spéciale de la levure, la forme aérobie. Comme pour les ascospores, le temps nécessaire à la formation des voiles varie suivant la température et les races de levure, en sorte que l'étude de ces formes constitue un excellent moyen pour caractériser les différentes espèces de levures.

Rayman et Kruys ont récemment étudié les produits de la fermentation des formes aérobies de levures.

1° Elles provoquent au contact de l'air une oxydation énergique aux dépens de l'alcool, qu'elles changent en eau et acide carbonique.

2° Elles attaquent les albuminoïdes et les changent en amides et sels organiques d'ammonium. Cette transformation est maxima pour les mycoderma.

3° Elles peuvent oxyder les albuminoïdes à l'état d'acides formique et valérianique.

Moisissures

360. L'étude des moisissures présente un grand intérêt au point de vue de la théorie de la fermentation, parce qu'elles constituent une sorte de transition entre les végétaux ordinaires et les ferments. Cet intérêt a été considérablement augmenté dans ces derniers temps par suite de l'application de certaines moisissures à la production industrielle de l'alcool.

Les moisissures sont des champignons de très petite taille, se composant d'une partie végétative, le mycelium (gr. Muces, champignon) ou thalle, qui pénètre dans le milieu nutritif sur lequel on le cultive et d'où s'élèvent des tubes droits ou rameux portant à leurs extrémités les organes de fructification, c'est-à-dire les *sporanges* renfermant les *spores* ou *conidies*. Quand la spore apparaît dans l'épaisseur même des filaments, on lui donne le nom de conidie mycélienne.

Un certain nombre de ces champignons se développent à la surface des mouts sucrés ou amylacés dont ils consomment les matériaux nutritifs ; ils se comportent alors comme les végétaux supérieurs ; ils se rapprochent simplement des ferments par leur énergie destructive qui est considérable. Ils attaquent le sucre et l'amidon et même l'alcool, en produisant plusieurs acides, notamment de l'acide oxalique et de l'acide carbonique. Mais les moisissures sont parmi tous les végétaux ceux qui présentent au plus haut point le caractère ferment, si on vient à les faire végéter en profondeur dans un liquide.

Si on les submerge dans le liquide pour les soustraire au contact de l'oxygène, ils continuent à se développer en absorbant du sucre ; mais au lieu de le brûler, ils le décomposent en alcool et acide carbonique.

Avant d'aller plus loin, nous donnerons quelques détails sur la manière de se procurer les moisissures les plus intéressantes.

On prend du crottin de cheval frais qu'on place sous une cloche à une température d'environ 30° C. Après quelques jours, des centaines de filaments s'élèvent et, quelques jours encore après, toute la surface est recouverte d'une jolie forêt de filaments très déliés, d'un blanc soyeux, auxquels sont pendues

de petites gouttes d'eau comme de la rosée. A l'extrémité de chaque filament se trouve une petite tête ronde d'abord jaunâtre et qui devient noire. Si on place la cloche dans un coin obscur, on voit bientôt tous les filaments s'incliner vers la fenêtre, comme les tiges d'un champ de blé sous la pression du vent. Si quelque capitule arrivé à maturité vient à toucher les parois de la cloche et éclate, le contenu sort et s'attache au verre, d'autant plus que le filament dégage un peu d'humidité à son sommet. Les filaments fructifères atteignent souvent une hauteur de 10 centimètres et même plus.

Si l'on aère quelques instants sous la cloche, les filaments commencent immédiatement à se faner et la forêt s'affaisse, par suite d'une rapide évaporation de l'eau à travers les minces parois des filaments. Si on recouvre de nouveau, la plante se rétablit assez vite.

La moisissure que nous étudions est le *mucor mucedo* (lat. *mucor* champignon, *mucedo* = morve); elle est caractérisée par des filaments sporifères longs et minces et par ses capitules ou sporanges peu apparents.

Quand la végétation du *mucor mucedo* s'est effondrée, d'autres moisissures prennent naissance, d'abord le *Pilobolus cristallinus* ou lanceur de bombes, ainsi nommé parce qu'au moment de leur maturité, il projette ses sporanges avec une grande violence.

D'autres végétations succèdent à celle-ci. Dans le même excrément on rencontre beaucoup d'autres organismes, notamment des levures, des bactéries et très souvent des *torula* (fort répandus aussi dans l'estomac de l'homme).

On peut se procurer des moisissures d'une autre façon. On prend de l'orge mouillée et on la laisse germer sur du papier buvard humide ou dans un germoir d'essai. Le développement des moisissures a surtout lieu rapidement quand un grand nombre de grains sont brisés.

On rencontre ici également des mucors : parmi eux le *mucor stolonifer* ou *Rhizopus nigricans*, reconnaissable par ses tubes sporifères courts, qui s'élancent d'un seul point et portent des sporanges noirs, et à de nombreux *stolons*, par lesquels il se propage comme un plant de fraisier (fig. 202).

Une grande partie des grains se recouvre d'une couche de moisissures constituées par du *penicillium glaucum* ou par de *l'aspergillus glaucus*.

Quelques grains se recouvrent d'une végétation blanche ou rou-

gèâtre de *Fusisporium graminearum* ou *Fusisporium moschatum*, ainsi nommé à cause de sa propriété de former dans les infusions de grains des composés musqués.

Souvent aussi on observe à la surface des grains des filaments variant du brun sombre au vert sombre et formant un léger duvet autour du grain. C'est le mycélium de l'*Alternaria* ; les filaments forment à leur extrémité ou sur de petites croissances latérales de nombreuses spores brunes ou verdâtres.

Nous allons ici étudier d'un peu plus près quelques moisissures.

361. *Penicillium glaucum* (*Penicille glauque ou verdâtre*). — C'est, de toutes les moisissures, celle qu'on rencontre le plus fréquemment. Il forme à la surface du milieu sur lequel il pousse un duvet d'abord blanc, puis verdâtre (glauque), ou d'un gris-bleu. Le mycélium est constitué par des filaments blancs, cloisonnés et ramifiés, qui s'élèvent perpendiculairement et se ramifient en forme de pinceau (fig 192). Chaque rameau se termine par une cellule en forme de bouteille d'où se détachent des spores sphériques qui peuvent rester réunies en forme de chaînettes. Ces spores ont un contenu gras, se mouillent par suite difficilement par l'eau et surnagent sur ce liquide. L'alcool les mouille immédiatement.

Le *Penicillium* sécrète une sucrase intervertissant le sucre de canne. Cette moisissure forme des taches bleues-verdâtres à la surface du pain moisi, des fruits et des confitures.

On le trouve fréquemment sur le malt en germination, sous forme d'un feutrage blanc très fin, qui ne tarde pas à se couvrir de spores de couleur vert de gris.

362. *Aspergillus glaucus*. — Dans le genre *Aspergillus*, les appareils conidifères ne se ramifient pas comme chez le *Penicillium*. Le tube s'enfle à son extrémité en forme de massue. Les spores sont également de petites sphères, disposées en chaînes à l'extrémité de cellules en forme de bouteille, constituant des stérigmates qui s'élèvent sur la massue comme les petits jets d'eau sortant d'une pomme d'arrosoir (d'où le nom d'*aspergillus*, latin *aspergere* = asperger). Le mycélium est anastomosé, c'est-à-dire composé de tubes s'abouchant l'un dans l'autre.

L'*aspergillus glaucus* (fig. 194) forme des spores d'un gris-vert. Il sécrète une diastase qui transforme l'amidon en dextrine et maltose. Dans le liquide de Raulin, il pousse trois fois plus rapidement que l'*Asp. niger*. Il se développe souvent sur le malt où, dans certains cas, il s'étale en quelques heures en larges taches brun-verdâtre.

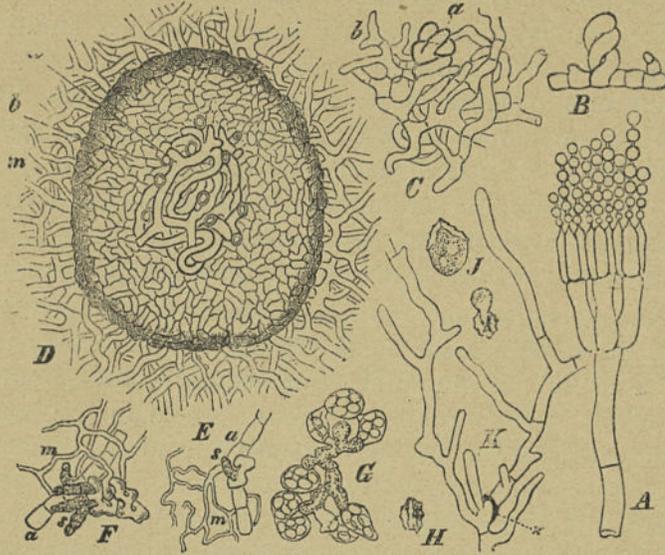


Fig. 192. — *Penicillium glaucum* (Jörgensen).

A, appareil conidien formé de stérigmes ou cellules subulées. B, enlacement de deux branches courtes et épaisses donnant naissance à des tubes C, qui produisent à leur tour des hyphes ascogènes *a* et des filaments stériles *b*. L'amas de ces hyphes *a* et de ces filaments stériles *b* entourant les hyphes, est encore enveloppé par des filaments mycéliens *m*, venant du tube primitif, et le tout forme un sclérothe D, à l'intérieur duquel les hyphes produisent des asques *s s* (représentées en F et E sur des hyphes grossies *a*). Chacune de ces asques produit huit spores ou sporocarpes G qui s'échappent de leur enveloppe. La spore étant semée, l'ospore crève et l'endospore pousse des tubes mycéliens K (*x* emplacement de la spore). En J on voit deux spores

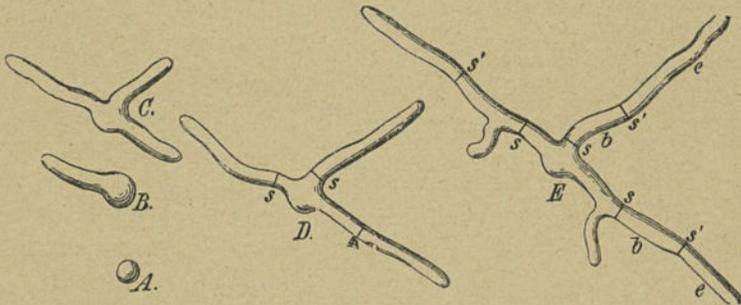


Fig. 193. — Germination d'une conidie.

commençant à germer. La fig. 193 montre la germination d'une conidie (A). Celle-ci pousse successivement un tube (B), puis deux (C), etc. En D et en E, on aperçoit les cloisons *s s'* qui se forment dans les tubes mycéliens.

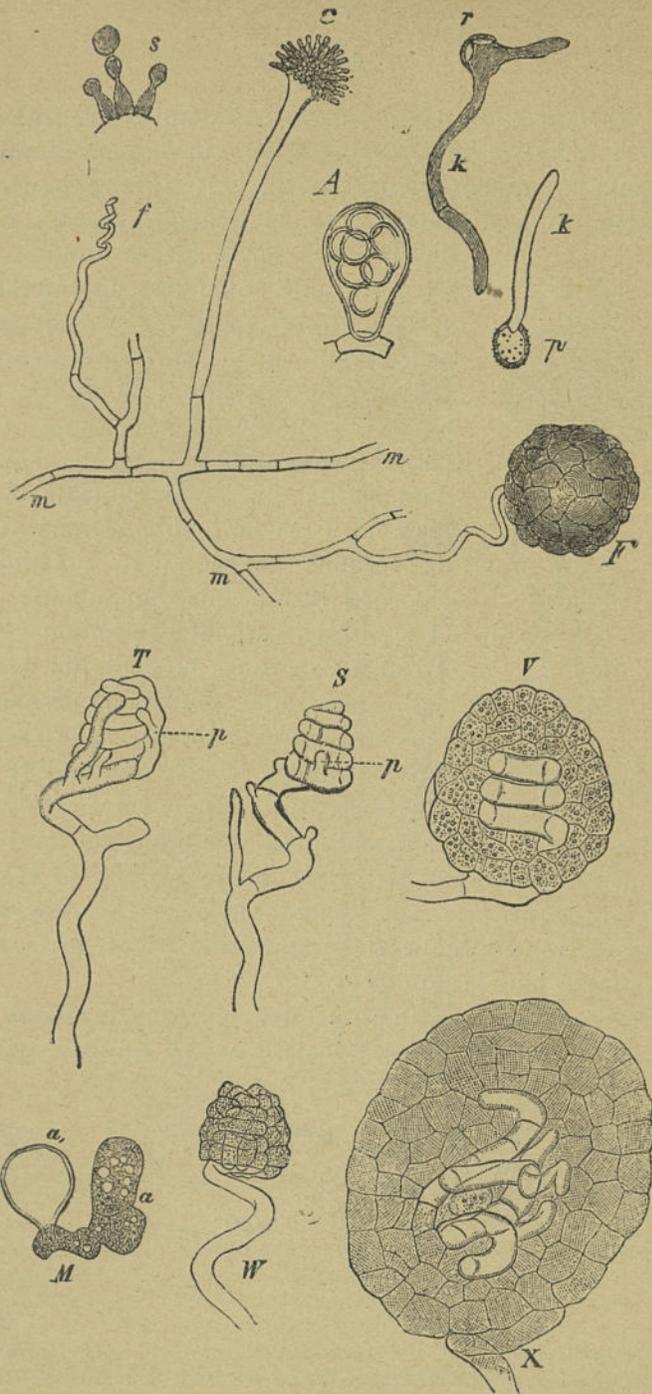


Fig. 194. — *Aspergillus glaucus* (Jörgensen).

m m, filament mycélien portant un tube conidifère *c*, dont les conidies se sont détachées, un périthèce (enveloppe des spores) *F* et les premiers rudiments d'un ascogone *f*; *s*, trois sterigmates du sommet d'un appareil conidien montrant le détachement des conidies; *p*, conidie en germination; *K*, tube germinatif; *T S W*, ascogone en forme d'hélice ($G = 250 - 300$); *V*, coupe de l'ascogone poussant dans son intérieur les rameaux formant les *asques*; *M*, partie d'une vieille branche fertile; *a*, jeune asque, *a*, asque vidé.

363. L'*Aspergillus niger* (fig. 195) est une moisissure qui est très répandue et qui se développe très bien sur le pain humide que l'on a abandonné quelque temps à l'air à 35° C. Elle pousse aussi très facilement sur du pain arrosé de vinaigre, sur des tranches de citron et sur la levure humide.

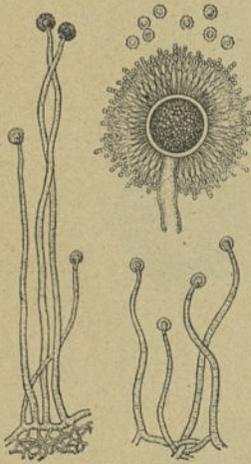


Fig. 195.
Aspergillus niger.

Raulin en a fait une étude très approfondie, qui a démontré l'importance considérable que peut avoir sur le développement de la plante, la composition du milieu nutritif. Les propriétés les plus curieuses de cette petite plante sont la nécessité d'une trace d'un sel de zinc, pour obtenir la récolte maxima, et sa sensibilité extrême à l'égard de certains antiseptiques, notamment le chlorure mercurique ou sublimé corrosif et le nitrate d'argent. L'addition de 1/1000 de sulfate de zinc du poids du sucre contenu dans une solution renfermant déjà tous les autres éléments favorables à son développement, donne une récolte 10 fois plus forte que celle obtenue sans zinc.

Quant à l'action des antiseptiques, l'addition de 1/500.000 de sublimé ou de 1/1.600.000 de nitrate d'argent arrête la végétation, et celle-ci ne peut même pas commencer dans un vase d'argent, bien que l'analyse chimique soit impuissante à déceler la moindre trace du métal dans le liquide.

L'*Aspergillus niger* semble sécréter plusieurs diastases : de la sucrase, de la maltase, de la tréhalase et de l'inulase, auxquelles

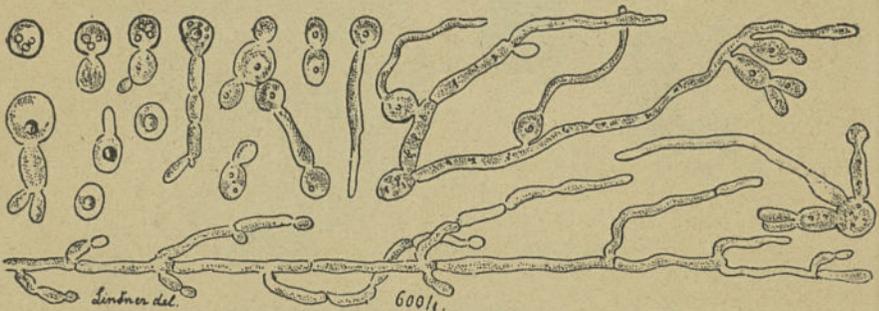


Fig. 196. — *Monilia candida*.

A gauche, cellules d'une vieille culture. Les autres parties du dessin montrent la formation du mycélium et des cloisons transversales.

on attribue l'inversion du saccharose en dextrose et lévulose, du maltose et du tréhalose en dextrose, et de l'inuline en lévulose.

364. *Monilia candida*. — Cette moisissure (fig. 196) fut découverte par Hansen sur du fumier frais de vache et sur des fruits



Fig. 197. — *Botrytis cinerea* (Jörgensen).

c *C'*, filaments conidifères partant du tube mycélien *m m* (*C'* porte des *conidies* mûres); *C''*, extrémité d'un appareil conidien, montrant le commencement de la formation des conidies à l'extrémité des rameaux; *K*, conidie en voie de germination (grossissement 300); *s s*, sclérothe ou corps dur, formé par un enchevêtrement des tubes mycéliens. Ces formes de repos étant portées peu de temps après leur maturation sur un lieu humide, donnent des filaments conidifères *a*; si, au contraire, elles sont mûres depuis longtemps, elles poussent une grosse touffe de filaments *p p*, s'élargissant à son extrémité en un disque en forme d'assiette; ce sont des périthèces. Sur la surface supérieure libre du disque, quelques filaments se gonflent pour former des tubes ressemblant à des massues et qui sont des *asques n* produisant dans leur intérieur 8 spores. En *b* on voit ces périthèces en grandeur naturelle.

doux et juteux, sous forme d'une couche blanche. Dans un moût clair il produit un voile superficiel blanc présentant la forme d'un mucelium tandis qu'au fond du liquide il se produit des cellules plus régulières analogues à de la levure. D'après Hansen cette mycédinée ne sécrète pas d'invertine et cependant elle fermente le sucre de canne. Elle fermente également le maltose. Cette fermentation est lente et il faut plusieurs mois pour produire 5 p. 100 d'alcool dans liquide, mais elle se produit encore facilement à 40° C. Fischer pense que la *Monilia* sécrète de la *maltase*.

365. *Botrytis cinerea*. — Cette moisissure (fig. 197) forme de

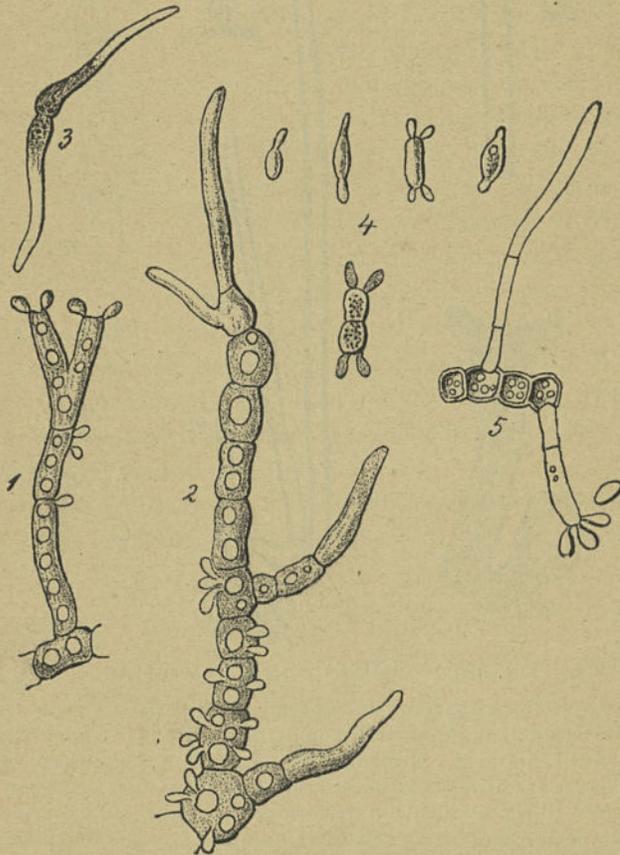


Fig. 198. — *Dematium pullulans* (Jørgensen).

1, 2, filaments mycéliens arrivés au terme de leur croissance avec cellules ressemblant à des levures; 3, cellules poussant des fils mycéliens; 4, cellules en bourgeonnement; 5, apparition de cellules ressemblant à des levures aux tubes germinatifs des cellules à parois brunes.

petits champignons gris jaune, sur des matières végétales humides en voie de dépérissement. Du mycelium brun grisâtre s'élèvent des filaments conidifères ayant l'aspect de tubes perpendiculaires et articulés, ordinairement en forme de touffes. La cellule du sommet pousse près de son extrémité de 2 à 6 petites branches formant un angle presque droit avec l'axe et se ramifiant à leur tour.

Cette moisissure donne au vin et à la bière un goût de fumée. Elle a la propriété de sécréter une oxydase.

366. *Dematium pullulans*. — Dans les analyses d'air opérées comme nous l'avons dit, on rencontre presque toujours cette moisissure (fig. 198) qui se distingue par sa propriété de liquéfier de bonne heure la gélatine. On l'obtient presque sûrement quand on projette dans un moût stérile des feuilles attaquées par la carie. Au bout d'une dizaine d'heures, le moût est déjà quelquefois complètement filant.

Cultivé en profondeur, le dematium donne des cellules pointues ; mais il produit également des cellules complètement rondes. La formation du mycelium ne commence généralement qu'après plusieurs jours de culture.

367. *Oidium lactis*. — Cette moisissure (fig. 199) se rencontre sur le malt, sur les parois des cuves et des conduits ; sa masse a une coloration jaune et une consistance mucilagineuse. On la rencontre [souvent à la surface des pains de levure pressée, sous forme d'une efflorescence blanche assez sèche. Elle ne produit pas d'acide lactique comme on le croyait. Elle produit également très peu d'alcool, mais elle possède à un haut degré, la faculté de décomposer les matières albuminoïdes.

368. *Fusarium graminearum*. — Certains malts de qualité inférieure se colorent quelquefois presque subitement en rouge : ce fait est dû au développement du *Fusarium graminearum* ou *Fusarium moschatum*. Il se montre à l'extrémité du grain d'où il s'étend de proche en proche et par contact direct aux grains du voisinage. En outre de la couleur rouge de ses spores, cette moisissure se caractérise très bien par la forme en faux de ces mêmes spores et par l'odeur de musc qu'il développe dans les moûts. Il est peut-être identique au *selenosporium aqueductum*, qui, au dire de Lagerheim, peut envahir les conduites d'eau, les turbines et les roues hydrauliques et répandre une odeur de

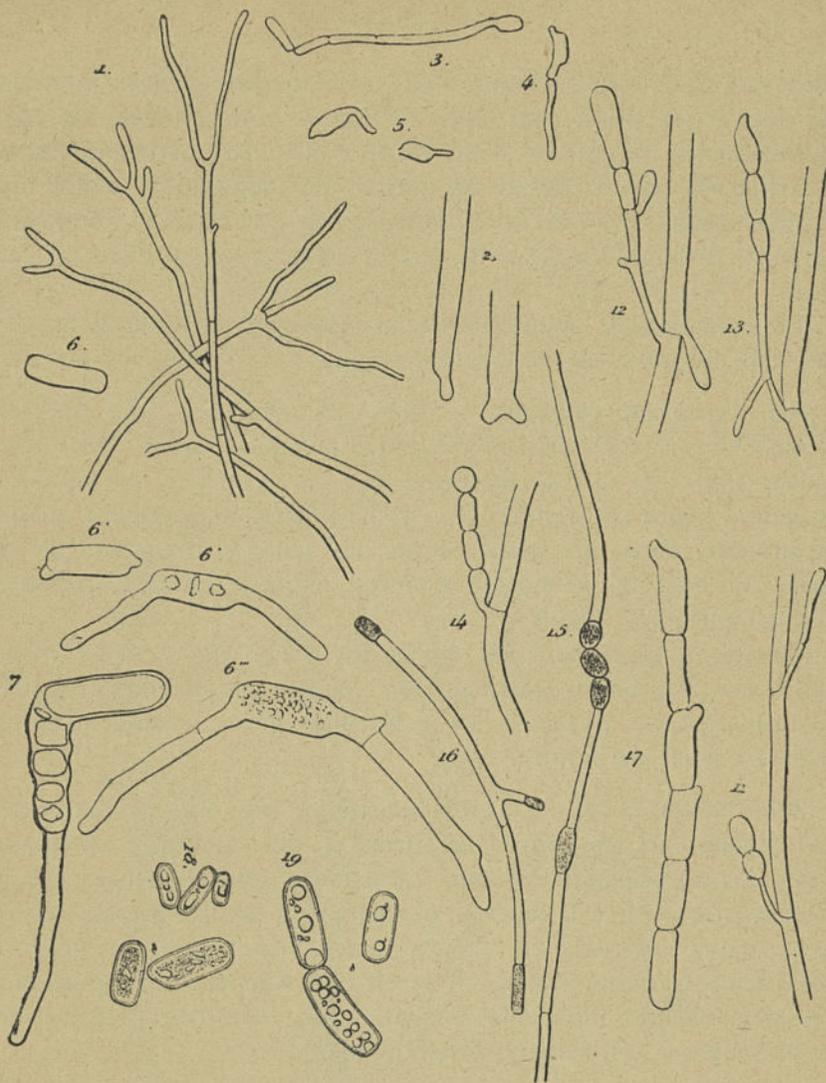


Fig. 199. — *Oidium lactis* (d'après Hansen) (1).

1, filaments fourchus à leur sommet; 2, deux extrémités de filaments, dont l'une montre une dichotomie à son début et l'autre commençant à détacher un article sphérique; 3-7, conidies en germination; 6', 6'', 6''', germination d'une conidie inoculée dans du moût de bière houblonné, dans la chambre humide de Ranvier, représentée dans plusieurs états de développement. Chaque extrémité a produit des tubes germinatifs; au bout de 9 heures (6'''), les fils germinatifs se sont cloisonnés et ont formé les premières traces de ramification; 11-14, formes anormales; 15, 16, filaments avec cellules interstitielles remplies de plasma; 17, chaîne de conidies en train de germer; 18, conidies qui ont séjourné longtemps dans de l'eau sucrée: le contenu montre des gouttes huileuses; 19, vieilles conidies.

(1) Jörgensen. — Les Microorganismes de la fermentation. Traduction française de M. Paul Freund. Société d'Éditions Scientifiques, 4, rue Antoine-Dubois, Paris.

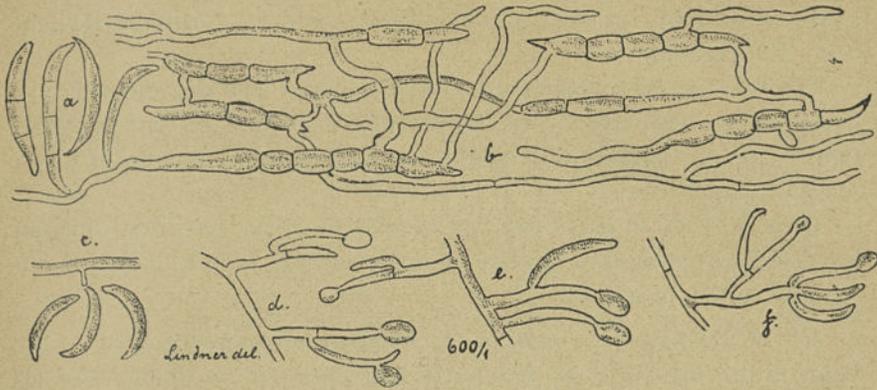


Fig. 200. — *Fusarium graminearum* (Gross. 600 fois).

a, spores en forme de faux; b, spores ayant germé, les tubes germinatifs forment entre eux des copulations; c, spores falsiformes se formant et se détachant du mycélium; d, e, f, formations analogues.

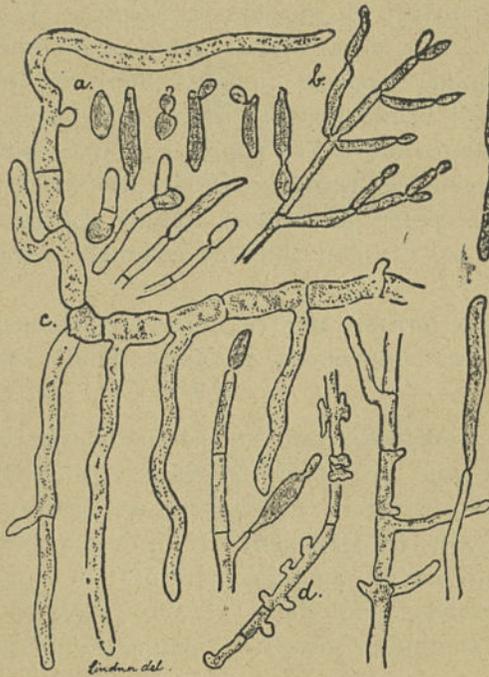


Fig. 201. — *Cladosporium herbarum*.

A droite de a, spores de formes diverses, quelques-unes en voie de germination; b, tube conidifère ramifié, les extrémités en se détachant forment des spores; c, jeunes tubes mycéliens issus de la spore c; d, filaments mycéliens, portant des organes d'attache.

musc tellement intense que le travail dans le voisinage devient très désagréable.

Les spores en forme de faux sont divisées par des cloisons (1). Lors de la germination, les extrémités pointues restent stériles, tandis que les parties intermédiaires gonflent et poussent des tubes mycéliens (fig. 200).

D'après Lott, le *Fusarium graminearum* n'est pas identique au *Fusisporium moschatum*, car le *Fusarium* ne donne dans aucun cas une odeur musquée (2).

369. *Cladosporium herbarum* ou *Penicillium cladosporioides*. — Ce *Penicillium* (fig. 201) se rencontre souvent sur le malt, sur les murs, les portes et les vitres humides; il communique aux extrémités des grains d'orge une couleur brune.

Dans l'éprouvette à moût gélatiné, cette mucédinée se distingue par ses spores d'un vert olive et par la coloration vert foncée de la couche de mycélium qui adhère au verre.

370. *Mucor stolonifer* ou *rhiçopus nigricans*. — Ce mucor (voir *f* et *i* 1, *l*, *l*₁, *l*₂, *l*₃, *l*₄ de la fig. 202) est celui qu'on rencontre le plus souvent sur le malt. Il pousse un mycélium extrêmement développé qui, d'abord blanc, devient gris ou jaune brun et produit de nombreux sporanges noirs. Les spores ont une coloration brune, leur enveloppe cannelée crève lors de la germination de la spore et se trouve alors posée sur celle-ci comme une petite calotte (*l*₁, *l*₃ de la figure 202). En *i* on voit une columelle semi-sphérique de ce mucor.

Les zygospores formées par ce mucor ressemblent à un baril et résultent de la conjugaison de deux cellules d'inégale grandeur.

371. *Mucor circinelloides* (lat. *circinàre* = former en cercle). — Cette moisissure (fig. 203) doit son nom à la forme tout-à-fait caractéristique de ses rameaux recourbés en crosse d'évêque. Les branches principales (*b*) déploient des rameaux latéraux courts, radicellaires, fourchus en plusieurs points (*c*); de leur base partent de nouveaux rameaux mycéliens (2) qui s'élèvent et peuvent développer des sporanges (2-5); les filaments sporangifères sont ramifiés.

D'après Gayon, ce mucor est sans effet sur le saccharose,

(1) P. Lindner. — Mikroskopische Betriebseontrolle in den Gärungsgewerben.

(2) Journal of the federated Institutes of Brewing, 1512; 1899.

tandis qu'il exerce une action fermentative très prononcée sur

a, *Mucor Mucedo* ; b, c, espèce de *Thamnidium* qu'on prendrait pour du *M. Mucedo* attaqué par un parasite ; d, *Mucor racemosus* ; e, *Pilobolus cristallinus* ou lanceur de bombes, proche parent du *M. Mucedo* ; produit en-dessous de ses sporanges noirs des renflements analogues à des perles de verre ; f, *Mucor stolonifer* ou rhizopus nigricans ; g, sporange de *M. Mucedo* à columelle cylindrique dont l'enveloppe porte, disposées comme des épines, des cristaux en aiguilles d'oxalate de calcium ; g, columelle après la vidange de la sporange, elle est encore entourée d'un anneau, débris de l'enveloppe de la sporange, qui disparaît facilement ; h, sporange de *Mucor Racemosus* à columelle h, sphérique ou en forme de poire ; i, sporange de *Mucor Stolonifer* à columelle i, demi-sphérique ; k, *Pilobolus cristallinus* ; k1, le même au moment du lancement du sporange ; l1 l2 l3, spores de *Mucor stolonifer* (gross. : 600 fois), en train de germer.

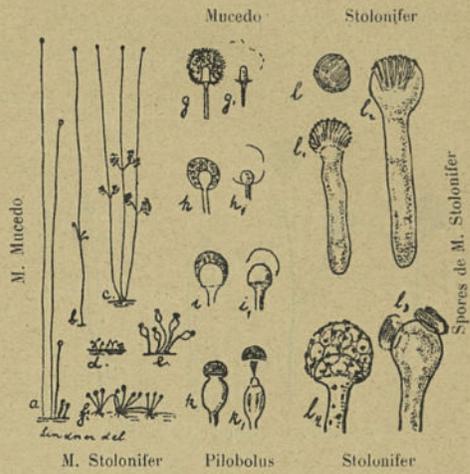


Fig. 202. — Divers genres de mucors.

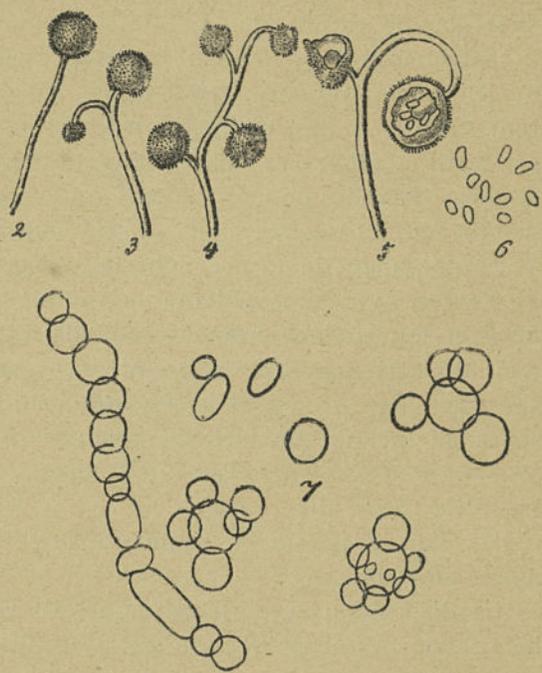


Fig. 203. — *Mucor circinelloïdes*.

le sucre inverti avec lequel il peut donner 5,5 p. 100 d'alcool en

volume. Gayon en a conclu que cette moisissure pourrait être employée dans les raffineries pour extraire le saccharose des mélasses. On sait qu'on a proposé dans le même but une levure trouvée par Roux dans des glucoses altérés.

372. *Mucor spinosus*. — Le mucor spinosus (fig. 204) présente des sporanges d'un brun chocolat hérissées de petites aiguilles. Après la chute des spores, on aperçoit une columelle (partie qui reste du sporange) portant des excroissances pointues et épineuses, d'où vient le nom de *spinosus* (épineux).

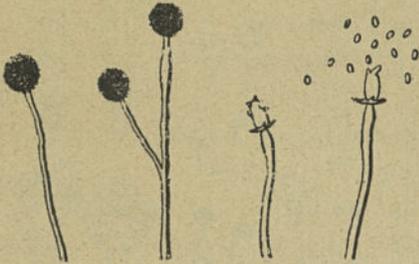


Fig. 204. — *Mucor spinosus*.

373. *Mucor alternans*. — Ce mucor (fig. 205), spécialement étudié par Gayon et Dubourg, se développe facilement dans la plupart des liquides ordinaires de culture : jus sucrés, eau de levure, liquide Raulin, moûts de bière ou de raisin, etc.

Ensemencé dans de l'eau de levure, par exemple, il produit un mycélium unicellulaire, très ramifié, qui donne naissance en différents points à des filaments fructifères dont le développement est facile à observer dans la chambre humide. On voit d'abord pousser hors du liquide nutritif une tige droite, qui se retourne bientôt en crosse, se renfle à son extrémité et donne naissance à un sporange de forme sphérique (fig. 1); puis, en moins de 24 heures, la tige précédente se ramifie en un point de sa courbure et fournit une branche secondaire qui s'incurve à son tour, mais du côté opposé à la première, et se termine par un second sporange (fig. 2); une nouvelle ramification engendre un troisième sporange incliné du côté du premier (fig. 3), et ainsi de suite. Le nombre des sporanges ainsi formés sur un même filament fructifère peut aller jusqu'à 10 et 12. Leur alternance étant la règle, Van Tieghem a donné à cette moisissure le nom de *Mucor alternans*.

La disposition la plus commune est celle d'une cyme unipare hélicoïdale à peu près régulière. Cependant, on observe quelques particularités dans le développement des rameaux successifs. Ainsi, dans la figure 7, le deuxième sporange, à partir de la base, est porté sur un long filament dressé, placé du même côté

que le premier ; dans la figure 6, le filament primitif a fourni deux branches principales ; et, sur l'une d'elles, les cinq plus jeunes sporanges sont portés par des pédoncules longs et grêles.

Par ses filaments à tige courte et incurvée, le *Mucor alternans* rappelle le *Mucor circinelloïdes*, et, par ses tiges longues et rameuses, il rappelle le *Mucor racemosus*.

Les spores du *Mucor alternans* sont elliptiques, à surface lisse, et mesurent 5 à 6^{mm} de largeur (fig. 5) ; ils sont renfermés dans une membrane incrustée de petites aiguilles cristallines et groupées autour d'une columelle sphérique (fig. 4), dont la base conserve toujours, en forme de colle-rette, un débris de la membrane extérieure.

Cultivé dans une dissolution de sucre de canne le

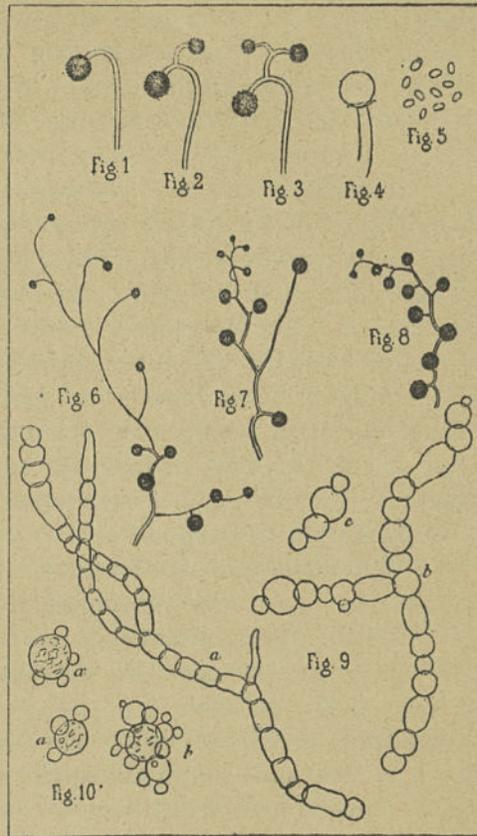


Fig. 205. — *Mucor alternans*.

1. — Filament fructifère du *Mucor alternans* recourbé en crosse et terminé par un sporange sphérique $G = \frac{200}{1}$.
2. — Filament fructifère avec 2 sporanges alternes $G = \frac{200}{1}$.
3. — Filament fructifère avec 3 sporanges alternes $G = \frac{200}{1}$.
4. — Columelle sphérique lisse, portant à sa base un reste de la membrane extérieure du sporange $G = \frac{500}{1}$.
5. — Spores elliptiques du *Mucor alternans* $G = \frac{500}{1}$.
6. 7. 8. — Aspects divers des organes de reproduction du *Mucor* $G = \frac{100}{1}$.
9. — Etats successifs du Mycelium dans une solution de dextrine : a, filament né d'une cellule ferment, divisé en articles cylindriques ; b, filament dont les articles sont gonflés et arrondis ; c, articles détachés du filament précédent $G = \frac{500}{1}$.
10. — Cellules ferments en voie de multiplication dans un liquide en fermentation : a, a, cellules peu bourgeonnées ; b, cellule mère entourée de cellules nombreuses, de première et deuxième génération $G = \frac{500}{1}$.

Mucor alternans se développe exclusivement en mycélium et fructifie comme dans l'eau de levure non sucrée. Il se comporte alors comme le *Mucor circinelloïdes* (1) et comme les levures non inversives qui, ne sécrétant pas d'invertine, n'ont pas le pouvoir de faire fermenter le sucre cristallisable.

Au contraire, dans une dissolution de glucose, il prend immédiatement l'état de grosses cellules sphériques, très bourgeonnées (fig. 10) et provoque une fermentation active.

Dans du moût de bière, dans des solutions de maltose, de dextrine et même de glucose impur, dans de l'empois d'amidon, il produit d'abord des tubes mycéliens qui se gonflent bientôt, se cloisonnent et forment une succession d'articles à peu près cylindriques (fig. 9, a); puis ces articles s'arrondissent en boules (b et c), se séparent les uns des autres et se reproduisent finalement à l'état de cellules sphériques, pendant toute la durée de la fermentation alcoolique.

Le *Mucor alternans* fait fermenter la dextrine, qu'elle soit seule ou mélangée avec des substances directement fermentescibles. Il n'y a jamais traces dosables de sucre réducteur, mais la dextrine diminue progressivement. En opérant dans un ballon Pasteur, on ne peut guère dépasser 4 p. 100 d'alcool, sans doute parce que la présence de l'alcool formé gêne le développement du *Mucor*. Si on le fait agir sur d'anciennes bières privées de leur alcool par le vide ou par l'ébullition, la fermentation recommence avec énergie et tous les hydrates de carbone, sucres ou matières saccharifiables, réducteurs ou non, se transforment en alcool.

L'absence complète de rotation et de réduction, avant et après traitement du liquide final par l'acide sulfurique, prouve que non seulement le maltose et la dextrine ont disparu, mais qu'il en a été de même des hydrates de carbone non fermentescibles (2), dont la présence est admise dans la bière.

La bière faite par le *Mucor* est plus alcoolique que la bière faite parallèlement avec une levure ordinaire. Gayon et Dubourg ont trouvé jusqu'à 4,2 p. 100 d'augmentation de richesse alcoolique en faveur du *Mucor*.

(1) GAYON. De la fermentation alcoolique avec le *Mucor circinelloïdes* (Annales de chimie et de physique, 5^e série, t. XVI; 1878).

(2) C'est-à-dire des pentoses. Cette observation a une importance considérable; elle prouve l'immense avantage présenté par certaines mucédinées, notamment les mucors, pour la saccharification.

« Le *Mucor alternans* constitue donc un ferment susceptible de rendre des services dans la production des boissons fermentées ou de l'alcool. Si son application pouvait être généralisée, il dispenserait des acides et permettrait l'emploi exclusif du malt pour la saccharification des matières féculentes.

» Son action ne s'exerce pas seulement sur la dextrine; elle s'étend aussi à l'empois d'amidon, qui est saccharifié en partie et fermente si le milieu est favorable à son développement. »

En stérilisant, par la chaleur, de l'eau de levure contenant de l'amidon et de l'eau ordinaire tenant en suspension de la pulpe de pommes de terre et ensemençant, après refroidissement, les deux liquides avec de la levure de *Mucor*, Gayon et Dubourg ont constaté que la moisissure se développait sous la forme de cellules sphériques et qu'il se dégageait des bulles gazeuses; mais au bout de 3 semaines, il n'y avait encore que 1,5 p. 100 d'alcool dans le premier liquide et 2,2 p. 100 dans le second. Les matières fermentées avaient un goût agréable, mais donnaient à la distillation des produits éthers plus volatils que l'alcool ordinaire.

Le *Mucor alternans* change d'abord la dextrine et l'amidon en sucre fermentescible qu'il transforme en alcool et acide carbonique. S'il arrive, dans des conditions favorables, que le pouvoir ferment soit toujours supérieur au pouvoir saccharifiant, le liquide pourra ne jamais renfermer de sucre réducteur libre.

Au lieu de laisser le pouvoir ferment du *Mucor* s'affaiblir de lui-même par la fermentation, on peut l'arrêter par une élévation de la température. Dans ces conditions, si l'on maintient entre 40° et 70°, la dextrine se transforme encore en maltose. A une température plus élevée, aucune réaction ne se produit.

Cette saccharification de la dextrine et de l'amidon par le *Mucor alternans* ne peut s'expliquer que par l'action d'une diastase, car elle cesse à une température supérieure à 70°-75°.

A l'état de mycelium, le *Mucor* est dépourvu du pouvoir saccharifiant, comme du pouvoir inversif; sous cette forme, il ne sécrète ni amylase, ni invertine.

374. *Mucor* ou *Chlamydomucor racemosus* (lat. *racémösus*, ramifié comme une grappe) est également une moisissure fortement répandue, principalement à la surface des grappes de raisin. Elle se développe surtout sur les liqueurs et les fruits acides, sur le pain et sur les débris végétaux en décomposition. Elle se distingue par ses sporanges gris-de-souris, portées par des tubes ramifiés, multicellulaires, relativement courts, mais qui peuvent également

atteindre une grande hauteur. Ses spores sont incolores et ses sporanges brunâtres. Ce champignon étant cultivé dans du moût, si on vient à submerger le mycélium, les filaments se divisent par des cloisons en un grand nombre de cellules, qui s'enflent d'abord en tonneau et plus tard se séparent. On obtient ainsi des images microscopiques d'une beauté remarquable : les morceaux de filaments sont aussi polis que s'ils avaient été faits au tour.

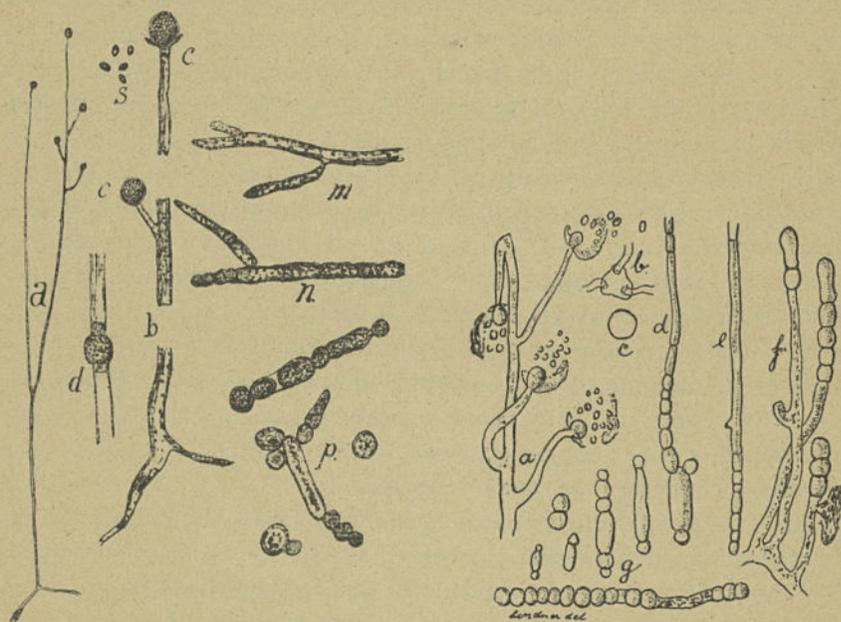


Fig. 206. — *Mucor* ou *chlamydomucor racemosus*.

PARTIE GAUCHE

a, filament fertile (Gross. 25); *b*, filament fertile du mycélium portant des sporanges *c* (Gross. 300); *s*, spores (Gross. 300); *m*, *n*, *p*, aspect du mycélium vivant submergé, depuis le filament non cloisonné jusqu'à la séparation des cellules.

PARTIE DROITE

a, tube sporangifère ramifié à sporanges vidées; *b*, spore qui, après une très notable augmentation de volume, a poussé 3 tubes germinatifs. Les autres parties du dessin représentent des formations de gemmes ou *chlamydospores*. Dans la partie *f*, le tube mycélien est crevé en un endroit et le protoplasme s'écoule par l'ouverture; *b-f*, grossissement de 100 fois.

Ces cellules en forme de baril ou sphériques peuvent se multiplier par bourgeonnements comme les levures proprement dites; on leur a donné le nom de *levure de mucor*; on les appelle aussi *gemmes* ou *Chlamydospores* (gr. *chlamus* = tunique).

Quand on pratique une culture pure de ce mucor dans du moût, il se produit à la surface, au bout de quelques jours, un recouvrement feutré rempli de bulles de gaz et où on rencontre, comme dans le liquide, de nombreuses gemmes ou cellules de levure de mucor.

La levure de mucor ressemble, au premier abord, tellement à la levure ordinaire, qu'on a cru primitivement que les moisissures peuvent se transformer en levure. La formation d'alcool plaiderait en faveur de cette hypothèse : mais la levure de mucor placée à l'air, dans les conditions de sa vie habituelle, reprend toujours les formes connues du mucor ; par conséquent cette transformation n'a pas lieu. Les levures ordinaires ne donnent, il est vrai, jamais de mycélium, même au contact de l'air ; mais certaines espèces en produisent.

On ne peut donc pas affirmer que la transformation des moisissures en levure soit impossible, mais jusqu'ici elle n'a pas été démontrée.

Les levures de mucor ont un pouvoir fermentatif notablement plus faible que les levures proprement dites ; les produits de leur fermentation semblent aussi être moins purs que ceux fournis par le *saccharomyces cerevisiæ*, aussi ne paraissent-elles pas susceptibles d'applications.

Le *mucor racemosus* est de toutes les moisissures du genre mucor, la seule qui renferme de l'invertine ; elle peut donc fermenter le saccharose, tandis que les autres mucors ne fermentent que le dextrose, le lévulose et le maltose.

Le *mucor racemosus* produit jusqu'à 7 % d'alcool en volume. Le *mucor erectus*, qui est le plus puissant comme ferment, peut produire 8 % d'alcool dans le moût de bière ; il fait aussi fermenter les dextrines et transforme l'amidon en dextrose.

M. Boidin a récemment reconnu que le *mucor racemosus* pouvait servir avantageusement à la fabrication de l'alcool par son nouveau procédé.

375. *Mucor mucedo*. — Cette moisissure (fig. 207) apparaît quelquefois sur le malt sous forme de longs filaments soyeux et de petites capsules noires pleines de spores. On la rencontre presque toujours sur le fumier, en une couche blanche très mince. Le mycélium ne se cloisonne que lors de la formation des spores. De ce mycélium s'élèvent des tubes sporangifères non ramifiés qui produisent le sporange (r) contenant les spores. C'est par ces spores que la moisissure se reproduit. La reproduction peut aussi se faire par zygosporos résultant de l'union

sexuelle de deux rameaux mycéliens (voir 5) dont les extré-

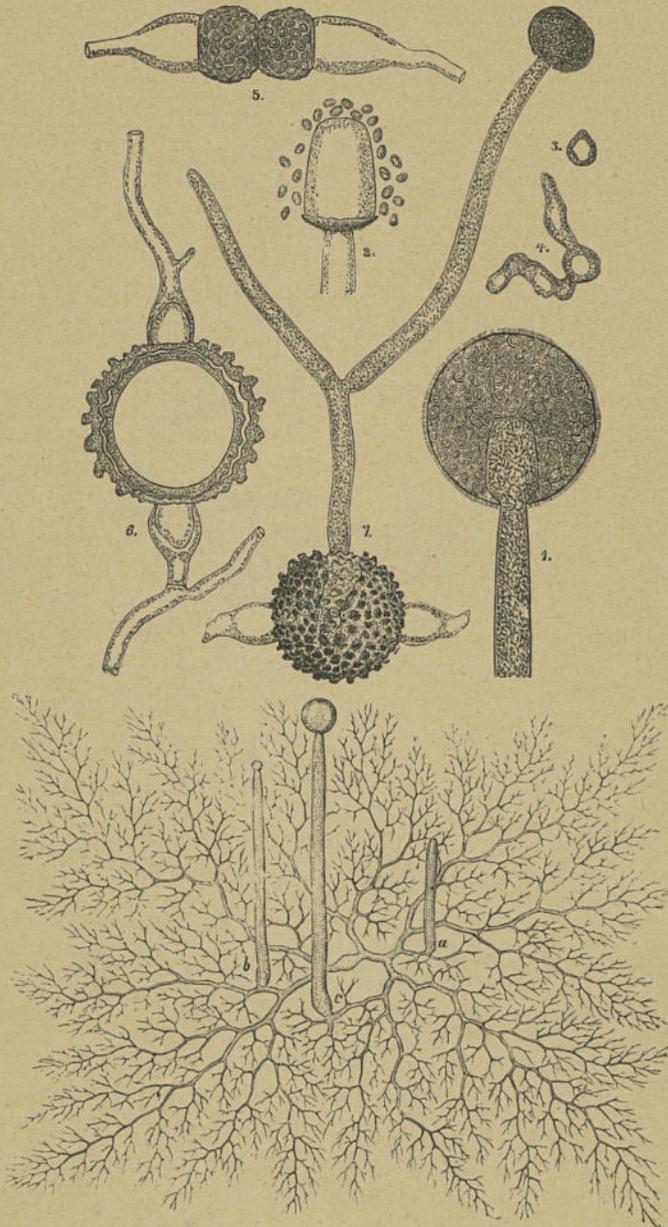


Fig. 207. — *Mucor mucedo* (Jørgenson).

mités s'enflent et se soudent entre elles en formant une boule dont on voit la coupe en (6).

376. *Aspergillus oryzae* (lat. oriza riz = *aspergille du riz*). — Cette moisissure constitue le *Koji*, ferment employé au Japon et en Chine pour la fabrication d'un vin de riz appelé *saké*. Elle renferme un ferment soluble, une diastase spéciale qui transforme très facilement l'amidon du riz en maltose et dextrine, en sorte que l'on peut avec cette céréale préparer une boisson fermentée sans saccharification au malt. La fermentation alcoolique du saké dure environ un mois, mais on pourrait, à ce qu'on prétend, arriver à une richesse en alcool de 18 p. 100. Cette fermentation est-elle produite par l'*aspergillus* lui-même ou par des levures sauvages ? Dans la dernière édition de son ouvrage, Jørgensen nous dit qu'elle est occasionnée par un organisme du genre des levures qui n'est pas en rapport génétique avec l'*aspergillus*. Il est clair que dans une fermentation aussi lente et faite sans soins antiseptiques, les levures sauvages jouent forcément un rôle considérable. Takamine a essayé de substituer au koji une culture d'*aspergillus oryzae*, le *takakoji* : mais son procédé n'a pas réussi jusqu'ici.

L'extrait de koji intervertit environ 70 % du sucre contenu dans une solution de saccharose : il n'intervertit pas l'inuline ni le lactose.

377. *Amylomyces Rouxii*. — Les Chinois préparent également une boisson fermentée directement avec l'amidon, en soumettant du riz cuit à l'action d'un ferment spécial dit *levure chinoise*. Ce ferment a la forme de petits gateaux aplatis, de la grandeur d'une pièce de 5 francs, et est constitué par du riz mélangé de plantes aromatiques et envahi par des bactéries, des levures et des moisissures. Parmi ces moisissures, il en est une qui se retrouve constamment et en proportion prédominante dans la levure chinoise : elle a été isolée par le Dr Calmette, qui lui a donné le nom d'*Amylomyces Rouxii*, en l'honneur de son maître le Dr Roux. L'origine de cette moisissure est la balle de riz dont est incrusté le petit pain de levure, et on peut obtenir d'emblée des cultures pures de la moisissure, en ensemençant dans du moût gélatiné de l'eau stérilisée, ayant servi au lavage de grains de riz (fig. 208).

Dans la levure chinoise faite avec les riz du Tonkin, ce sont d'autres moisissures, appartenant au genre mucor, qui prédominent.

Les milieux de prédilection de cette moisissure sont le moût de bière liquide, ou solidifié par la gélatine ou la géluse, et surtout les substances amylacées cuites à la vapeur. Noyée dans le moût de bière, elle se développe en masses floconneuses et pro-

duit une petite quantité d'alcool : 2,4 p. 100 environ en 6 jours. Si on la laisse se développer seulement en surface, elle brûle directement le maltose du moût sans produire d'alcool. Sur le riz cuit ou sur les féculés hydratés par la chaleur humide, elle étale son mycélium aérien et transforme partiellement en sucre la couche d'amidon sous-jacente, mais le sucre formé est aussitôt utilisé pour l'alimentation de la moisissure, tant qu'elle continue à s'accroître au contact de l'air. Si, au contraire, on l'oblige à se développer en profondeur dans la substance amylacée, à l'abri de l'air, elle hydrate l'amidon avec une très grande énergie et produit de la dextrine et du sucre fermentescible.

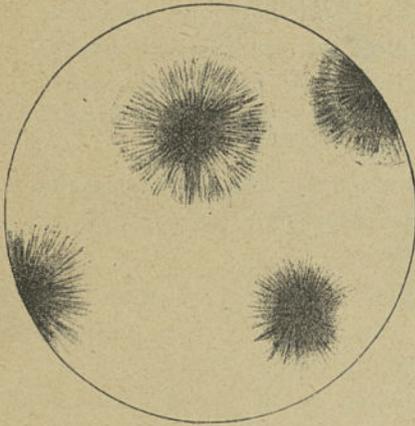


Fig. 208. — Aspect des colonies d'*Amylomyces Rouxii* sur moût gélatine.

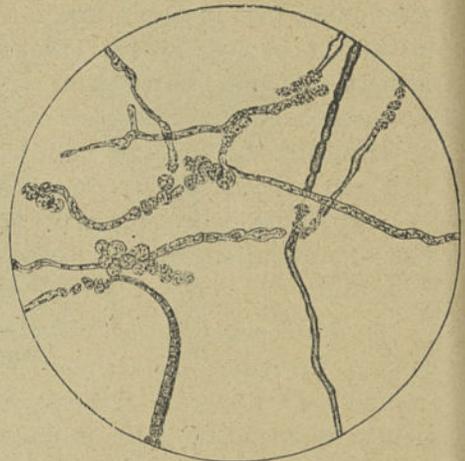


Fig. 209. — Segmentation en gemmes du mycélium d'*Amylomyces Rouxii* en culture anaérobie ou en profondeur dans les milieux liquides.

On peut étudier avec facilité son développement, soit en l'ensemencant en gouttes suspendues dans du moût de bière, soit en emprisonnant un rameau mycélien dans de la gélose glucosée, en chambre humide de Ranvier.

Au contact de l'air, sur les bords de la gouttelette suspendue, le tube mycélien s'allonge peu, et se divise bientôt en cloisons transversales au niveau desquelles le protoplasme, très réfringent, s'amasse pour former des *conidies* (fig. 209). Au début, ces conidies ont une forme cubique, puis elles s'arrondissent, mais ne s'isolent pas du rameau qui les a fait naître et qui se prolonge au-dessus d'elles pour former un peu plus loin une ou plusieurs autres conidies semblables. Jamais le mycélium aérien ne se

termine par des *zygospores* comme chez les *mucorinées*, ni par des capitules chargés d'*ascospores* comme chez l'*aspergillus* ou l'*eurotium orizæ* du *kôj* japonais, par exemple. Quel que soit le substratum sur lequel on cultive cette moisissure, on n'observe aucune fructification à l'extrémité des fils mycéliens ; c'est toujours dans leur continuité que se montrent les conidies.

Dans les cultures profondes en moût gélatiné, partout où le mycélium échappe au contact direct de l'air, il s'accroît par bourgeonnement direct, étalant en tous sens ses ramifications tubuleuses, dans l'intérieur desquelles on peut facilement suivre, à un grossissement de 150, la progression du protoplasma ; mais aucune conidie n'apparaît (fig. 210).

Noyée dans un liquide sucré, dextriné ou amylicé, la plante ne produit pas de cellules ovales ou sphériques en forme de levures, comme le *Mucor racemosus* ou le *Mucor alternans*. Elle se développe exclusivement en mycélium rameux.

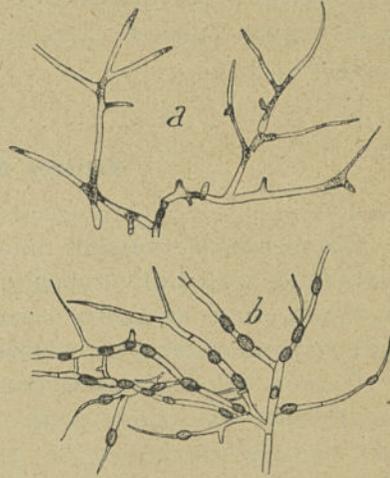


Fig. 210. — Formation des conidies mycéliennes d'*amylomyces Rouxii* dans la culture aérobie.

378. *Étude des moisissures de l'air.* — Pour étudier les moisissures qui se trouvent dans l'air, on place aux endroits que l'on veut explorer de petites éprouvettes préalablement stérilisées. Quand on a pendant une heure laissé à l'air le temps de déposer ses germes, on bouche chaque éprouvette avec un tampon de coton stérile et on met une étiquette. Les germes restent vivants pendant des années, en sorte qu'on peut les étudier au moment le plus commode.

Chaque éprouvette reçoit le contenu d'un petit tube plein jusqu'au $\frac{1}{3}$ de gélatine stérilisée. On a préalablement réchauffé tous ces tubes en les plongeant dans un bain-marie à 40° C. En renversant plusieurs fois l'éprouvette, tous les germes se répartissent dans la gélatine. Pour figer celle-ci rapidement, on fait rouler l'éprouvette sur un bloc de glace, dans lequel on a creusé une rainure. La gélatine doit être étalée en couche uniforme, ce qu'on

obtient aisément en roulant l'éprouvette très rapidement au moment où la gélatine commence à se figer.

A défaut de glace, on peut opérer sous l'eau.

Pour les moisissures, on emploie du moût gélatiné de bière, de raisin ou de fruits ; pour les bactéries, le bouillon de viande gélatiné est préférable.

Après 4 ou 5 jours, on voit déjà se former des végétations, principalement de moisissures. Celles-ci sont presque toutes faciles à distinguer l'une de l'autre, aux caractères que nous avons indiqués.

Matières fermentescibles

379. Les seules matières qui subissent facilement la fermentation alcoolique, c'est-à-dire capables de servir d'aliments anaérobies à la levure, sont les sucres ; mais jusqu'ici on n'a pas encore pu faire fermenter tous les sucres.

D'après Fischer, les levures ordinaires ne peuvent faire fermenter que les sucres renfermant trois atomes de carbone ou un multiple de trois. Le glycérose ou aldéhyde glycérique $C^3H^6O^3 = CH^2OH. CHOH. COH$, les hexoses $C^6H^{12}O^6$ (aldoses ou cétooses) peuvent subir la fermentation, tandis que les tétroses, les pentoses (arabinose, xylose, etc.), les heptoses, etc., sont infermentescibles et ne peuvent servir que d'aliment aérobie.

Les hexoses se distinguent en aldo-hexoses et en céto-hexoses. Parmi ces derniers, le lévulose ou d fructose est seul fermentescible.

Outre les hexomonoses ou monosaccharides, il y a les hexobioses ou disaccharides : ces sucres pour fermenter doivent d'abord se transformer en hexomonoses.

A. *Sucres directement fermentescibles.* -- Hexoses : d glucose ou dextrose et d fructose ou lévulose. Ces deux sucres se rencontrent dans un grand nombre de fruits : les raisins, les pommes, mélangés à équivalents égaux. Ils se produisent aussi par parties égales dans l'inversion du saccharose par les acides ou par la sucrase ou invertine de la levure. Le dextrose se forme seul par le traitement de l'amidon, du maltose, du tréhalose et de certains glucosides, par des acides ou des diastases appropriées : le lévulose se forme seul par l'action des mêmes corps sur l'inuline.

Par l'action des acides ou de certaines diastases sur la lévuline

ou synonhrose on obtient un mélange de dextrose et de lévulose en parties inégales.

Ces deux sucres, quelle que soit leur provenance, sont fermentescibles : il n'y a d'exception que pour le glucose produit par le dédoublement de certains glucosides ; mais ces corps ne sont jamais utilisés à la production de l'alcool.

Le lévulose, dans certaines conditions, fermente plus lentement que le dextrose. Ce fait a d'abord été observé par Dubrunfaut, qui lui a donné le nom de *fermentation élective*. Maumené et Bourquelot ont annoncé que la levure ne manifestait aucune préférence pour l'un ou l'autre sucre, mais que ceux-ci étaient absorbés plus ou moins rapidement suivant les conditions extérieures.

Si on fait fermenter avec une levure de bière ou une levure de vin une solution de sucre inverti exempte de saccharose, il disparaît d'abord plus de dextrose que de lévulose. A mesure que la fermentation se poursuit, cette sélection change de sens ; mais il reste toujours jusqu'à la fin un excès de lévulose. C'est ce qui arrive généralement dans le jus de raisin.

Bourquelot crut remarquer que, en général, les sucres disparaissaient, dans la fermentation, proportionnellement à leur pouvoir osmotique, c'est-à-dire qu'ils fermentaient d'autant plus vite qu'ils traversent plus facilement les membranes. Dans un mélange de lévulose et de maltose, le lévulose fermentait beaucoup plus rapidement que le maltose et cela exactement dans le rapport de diffusibilité des deux sucres. Mais Gayon et Dubourg trouvèrent que certaines levures décomposaient plus rapidement le lévulose que le dextrose, tandis que le contraire avait lieu pour d'autres variétés, en sorte que la fermentation ne pouvait se faire simplement suivant les lois de la diffusion dans l'intérieur de la cellule, mais devait être une fonction de l'espèce de levure provoquant le dédoublement du sucre.

Nous accepterons cette dernière explication comme étant conforme aux observations les plus récentes sur les rapports de l'action des microorganismes avec la stéréochimie. N'oublions pas que le dextrose est une aldose (alcool aldéhyde), tandis que le lévulose est une cétose (alcool cétone).

B. *Sucres non directement fermentescibles, mais transformés en sucres fermentescibles par les diastases inversives.* — a) *Saccharose* $C^{12}H^{22}O^{11}$. Cet hexobiose ou disaccharide est le principe sucré de la betterave, de la canne à sucre et des mélasses. Il ne fer-

mente qu'après avoir subi l'inversion par les acides ou par l'action d'une diastase sécrétée par la levure et qu'on appelle *sucre*. Celle-ci commence donc elle-même par transformer le saccharose avant de produire la fermentation, et son action est assez rapide pour rendre l'inversion par un autre moyen inutile. L'inversion occasionne cependant pour la levure un certain travail qui retarde un peu son développement, comme le montre le tableau que nous donnons plus loin au chapitre des diastases.

b) *Maltose* $C^{12}H^{22}O^{11}$. — Cet hexobiose ou disaccharide se produit par l'action de la diastase du malt sur l'amidon. Il semble fermenter directement par les levures de bière; mais en réalité, comme l'a démontré Fischer, il est d'abord dédoublé en deux molécules de dextrose par une diastase, la maltase que sécrètent ces levures. Il ne fermente que très difficilement sous l'influence du *S. elliptique* du vin et est complètement infermentescible par le *Saccharomyces apiculatus*. M. Martinand a fait voir comment on pouvait utiliser cette propriété pour déceler les levures sauvages dans les levures cultivées, lorsque la méthode fondée sur le développement des ascospores laisse à désirer, par exemple quand la levure cultivée forme des ascospores au bout d'un temps très court (25 à 30 heures).

c) *Lactose* $C^{12}H^{22}O^{11}$. — Cet hexobiose ou disaccharide est le principe sucré du lait. Il ne fermente pas directement par les levures ordinaires; traité par les acides étendus, il se dédouble en deux aldo-hexoses, le *d* glucose (dextrose) et le *d* galactose. Nous savons que le galactose ne fermente pas par la levure de bière haute. M. Duclaux a découvert des espèces de levures qui semblent faire fermenter le sucre de lait sans inversion préalable; en réalité cette inversion se produit, mais le sucre qui en résulte disparaît rapidement.

d) *Mélibiose* ou *Eucalyne* $C^{12}H^{22}O^{11}$. — L'inversion énergique produite par les acides étendus ou la mélibiase contenue dans les levures basses des brasseries allemandes transforment également ce sucre en un mélange de dextrose et de galactose.

e) *Melitriose* ou *raffinose* $C^{18}H^{32}O^{16}$. — Cet hexotriose ou trisaccharide se rencontre dans quelques mélasses et en petite quantité dans certaines betteraves. Les levures hautes peuvent le dédoubler en lévulose qui fermente facilement et en mélibiose qui reste intact. Ce dernier ne fermente pas par les levures hautes; on ne peut pas, avec elles, transformer plus de $1/3$ du raffinose en

alcool. On suppose que les levures basses renferment une diastase qui attaque le mélibiose et qu'on appelle *mélibiase*.

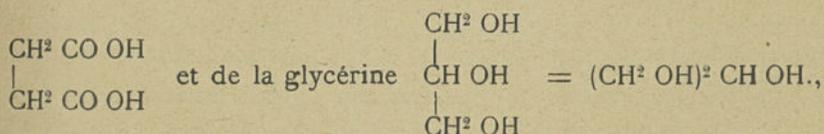
C. — *Substances ne fermentant qu'après avoir été transformées par une diastase autre que celle sécrétée par la levure.* — *Dextrines* $C^6H^{12}O$. — Les dextrines se produisent en même temps que le maltose par l'action de l'amylase sur l'amidon ou par l'action des acides sur ce dernier. Les dextrines produites par l'action de l'amylase fermentent complètement par la levure en présence de cette diastase; celles produites par les acides ne sont que très difficilement attaquées par elle (Voir n° 3).

Inuline $C^6H^{10}O^5$. — Les acides étendus ou l'eau sous pression la transforment à la longue complètement en lévulose, de même l'inulase, diastase spéciale sécrétée par le topinambour. L'amylase et la sucrase n'ont aucune action inversive.

Lévuline ou synanthrose. — La sucrase agit sur la lévuline, mais si faiblement qu'il ne faut pas compter sur elle; il faut faire l'inversion par les acides étendus ou sous pression (89, 221).

Produits de la fermentation.

380. L'alcool et l'acide carbonique ne sont pas les seuls produits de la fermentation provoquée par la levure; Pasteur a démontré qu'il se forme toujours, en outre, de l'acide succinique



qui représentent 5 à 6 % du poids du sucre décomposé par la levure. Donc, d'après Pasteur, 94 à 95 % du sucre soumis à la fermentation subissent seuls la scission en acide carbonique et alcool.

Cette conclusion de Pasteur a été combattue par un chimiste allemand, Brefeld. D'après ce dernier, une levure énergique, fermentant à l'abri de l'air, donne presque exclusivement de l'alcool et de l'acide carbonique, suivant l'équation de Gay-Lussac, tandis que de la levure en dépérissement produit en outre des acides organiques, du fusel, et cela en proportions d'autant plus fortes que la levure est plus près de la mort.

Il est impossible d'admettre avec Brefeld que l'alcool amylique soit produit uniquement par un état maladif de la levure, car il

est prouvé que certains moûts, ceux de grains, par exemple, qui sont très favorables à la nutrition et à la production de la levure, fermentent en produisant beaucoup d'alcool amylique.

L'acide succinique et la glycérine se produisent dans toutes les fermentations. D'après des expériences récentes de Rau (*Zeitschrift für anal. Chemie*, 32-482), lorsque l'action de la levure est très énergique, il se produit, en général, plus d'acide succinique: en outre, dans une solution riche en matières nutritives, en règle générale, la production de la glycérine augmente fortement, tandis que la proportion d'acide succinique reste constante. Ces observations vont tout à fait à l'encontre de l'opinion exprimée par Brefeld.

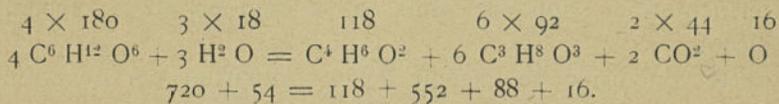
L'acide succinique existe dans tous les vins à raison de 1 gr. à 1 gr. 25 environ par litre.

D'après Rau, la formation de l'acide succinique n'est pas diminuée par une basse température, tandis qu'au contraire la formation de la glycérine est diminuée.

Suivant Pasteur, l'acide succinique et la glycérine se formeraient dans le rapport de 1 à 5. En faisant l'analyse des quatre sortes de vins suivantes, il trouva :

	A. SUCCINIQUE	GLYCERINE
Vieux Bordeaux	1 gr. 5	7 gr. 4
Bordeaux ordinaire.	1 gr. 4	6 gr. 9
Vieux Bourgogne	1 gr. 5	7 gr. 3
Bourgogne ordinaire	0 gr. 9	4 gr. 3

L'équation de Monoyer donne :



D'après cette équation, le rapport de l'acide succinique à la glycérine serait 118 : 552 = 1 : 4,68.

Suivant Thighmann et Hilger, les liquides fermentés montrent, suivant les différentes conditions de fermentation, de notables différences dans leur teneur en glycérine. Les expériences de Rau confirment cette opinion. En outre, l'acide succinique se forme indépendamment de la glycérine, puisque :

1° La formation de l'acide succinique n'est pas diminuée par une basse température, tandis que la formation de la glycérine diminue.

2° Une forte dose de matière nutritive augmente la formation de glycérine, sans augmenter celle de l'acide succinique (1).

3° L'action énergique des cellules augmente la production d'acide succinique.

Notons encore que la présence ou l'absence de l'air n'ont aucune influence sur la formation de la glycérine et de l'acide succinique.

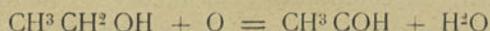
D'après M. Effront, les levures accoutumées à l'acide fluorhydrique produisent très peu de glycérine; mais les explications que donne ce savant sont en contradiction avec les expériences de Rau et sembleraient plutôt confirmer l'opinion de Bréfeld.

En effet, d'après Effront, la proportion de produits accessoires varie aux diverses époques de la fermentation; ils se forment surtout à la fin, quand le pouvoir ferment de la levure est presque épuisé par suite du manque de matières nutritives. La question n'est donc pas encore suffisamment élucidée; elle a cependant fait un grand pas depuis la découverte de la zymase alcoolique par Buchner, car la fermentation produite par cette zymase semble répondre très bien à l'équation de Gay-Lussac.

Un produit de la fermentation qui occasionne beaucoup d'ennuis au distillateur est l'aldéhyde. D'après Röser, dans toute fermentation il y a production d'aldéhyde. Celle-ci se forme en quantité d'autant plus élevée que le renouvellement de l'air en contact avec le moût se fait plus facilement. L'origine de l'aldéhyde peut être rapportée, suivant Roser, aux facteurs principaux suivants: la vie normale et physiologique de la levure; l'oxydation de l'alcool par cette levure; l'oxydation directe de l'alcool par l'oxygène de l'air.

L'aldéhyde se forme principalement quand la fermentation a lieu à une température élevée. La quantité formée varie suivant l'espèce de levure employée, la nature du moût et l'intensité de l'aération.

La formation de l'aldéhyde est représentée par l'équation :



Dans les fermentations avec excès d'air, il se produit toujours beaucoup plus d'aldéhyde que lorsque cette opération se fait à

(1) Toutes les conditions qui favorisent la vie de la levure sont favorables à la production de glycérine (Müller-Thurgau).

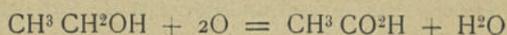
l'abri de l'air, par exemple. Dans le premier cas, la levure vit en aérobie, et elle oxyde une petite quantité d'alcool suivant l'équation ci-dessus, au fur et à mesure de sa production.

Il doit aussi se produire plus d'aldéhyde dans un moût trouble que dans un moût clair. M. Martinand a remarqué que du vin resté longtemps sur ses lies renferme beaucoup d'aldéhyde.

L'aldéhyde est un corps dont il faut éviter la production ; il possède une odeur très forte, et, quoique sa température d'ébullition (21°) soit fort différente de celle de l'alcool éthylique (78°), il est difficile à séparer de l'alcool, parce qu'il est soluble dans ce dernier en toutes proportions. Par une *rectification* soignée, on y arrive cependant.

Dans une fermentation en milieu plus ou moins réducteur, on ne rencontre pas d'aldéhyde, en sorte que l'absence de ce corps ne prouve pas que la fermentation soit bonne.

L'acide acétique se produit également dans toutes les fermentations industrielles. D'après les expériences de Béchamp, confirmées par celles de Duclaux, l'acide acétique se produit même dans une fermentation scientifique avec levure pure. La levure abandonnée à elle-même a toujours une certaine acidité due à la production d'acide acétique. Mais la majeure partie de l'acide acétique est produite par des ferments spéciaux, notamment le *bacterium aceti*. La formule qui représente la transformation de l'alcool en acide acétique est :



D'autres ferments : lactiques, butyriques, etc., produisent également un peu d'acide acétique.

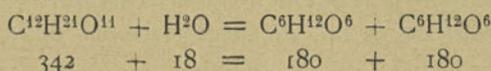
L'acide butyrique ne se produit pas dans une fermentation alcoolique normale, mais il se produit assez souvent par une fermentation spéciale occasionnée par l'action de divers microorganismes sur le sucre : la fermentation butyrique.

381. *Équation et formules de la fermentation.* — La fermentation alcoolique produite directement par la levure est un acte biologique qu'il est impossible de représenter par une formule exacte. « Il devient de jour en jour plus certain, dit M. Van Laer, que les substances élaborées par un même organisme, ainsi que ses produits d'excrétion, varient dans d'assez larges limites avec les conditions physiques et chimiques dans lesquelles il se trouve placé. C'est ce qui fait que l'école de Paris se refuse toujours à établir

actuellement une classification parmi des organismes dont l'identité est encore difficile à établir. »

Gay-Lussac admettait que le sucre se dédoublait simplement en alcool et CO² $\frac{C^6H^{12}O^6}{180} = \frac{2(CH^3CH^2OH)}{2 \times 46} + \frac{2CO^2}{2 \times 44}$

La saccharose se dédouble par hydrolise en dextrose et lévulose avant de fermenter



Comme 100 parties de sucre cristallisable ou saccharose donnent $\frac{360 \times 100}{342} = 105,26$ parties de sucre inverti ou invertose, 100 gr. de glucose (dextrose ou lévulose) donneraient, d'après l'équation de Gay-Lussac, $\frac{92 \times 100}{180} = 51$ gr. 11 d'alcool et 48 gr. 89 de CO², et 100 gr. de saccharose.

$$\frac{51,11}{0,95} = 53 \text{ gr. 8 alcool et } \frac{48,89}{0,95} = 51,46 \text{ CO}^2.$$

Mais Pasteur démontra que sur 100 gr. de sucre, 94 à 95 % seulement se transformaient suivant l'équation de Gay-Lussac, le reste servant à faire de la glycérine, de l'acide succinique, etc.

En se basant sur un grand nombre d'expériences, Pasteur a établi comme moyenne des produits de la fermentation de 100 p. de saccharose, les chiffres suivants :

Alcool	51.10
Acide carbonique.	49.20
Acide succinique.	0.65
Glycérine	3.40
Cellulose, graisse, matières extractives . .	1.30
	<hr/>
	105.65

On voit que, d'après cette formule, 100 gr. de saccharose ou 105 gr. 26 de sucre inverti, ont donné un léger excédent en produits fermentés.

Nous avons vu que, d'après l'équation de Monoyer, 720 gr. de dextrose en se dédoublant en produits accessoires donnent 758 gr. d'acide succinique, glycérine et acide carbonique; comme, d'autre part, 95 gr. de saccharose donnent 100 gr. d'invertose dont 95 % sont dédoublés suivant l'équation de Gay-Lussac et le reste suivant celle de Monoyer, 100 gr. de sucre de canne donnent :

$$\frac{100}{95} \left(95 + 5 \times \frac{758}{720} \right) = 105,54.$$

On voit que cette formule rend assez bien compte du phénomène, mais elle doit néanmoins être considérée plutôt comme une explication que comme une véritable équation.

On remarquera que le rendement Pasteur du saccharose, en admettant que 95 p. 100 de sucre fermentant, correspond au rendement idéal du sucre inverti; en effet, il n'y a que les 95/100 du sucre qui donnent le rendement idéal et comme 100 k. de sucre inverti proviennent de 95 kil. de saccharose, les deux chiffres sont identiques.

Claudon et Morin, en faisant fermenter du saccharose avec du S. ellipsoïdeus, ont trouvé les produits suivants :

Aldéhyde éthylique.	Traces
Alcool éthylique	50.671
Alcool propylique normal.	0.002
Alcool isobutylique.	0.0015
Alcool amylique	0.051
Ether œnanthique	0.002
Acide acétique	0.2053
Glycol isobutylique	0.1580
	<hr/>
	51.0348
Acide succinique	0.352
Glycérine.	2.120
	<hr/>
	53.6068

L'alcool butylique normal $\text{CH}^3 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{OH}$ et l'acide butyrique $\text{C}^3\text{H}^7 \text{CO}^2\text{H}$, qui se présentent souvent dans les fermentations, ne se rencontrent pas ici.

En calculant le rendement en alcool des divers sucres, au moyen de l'équation de Gay-Lussac, on arrive aux chiffres suivants :

	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	CO_2
Dextrose et levulose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	51 gr. 11	48 gr. 89
Saccharose et maltose $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	53 gr. 80	51 gr. 46
Amidon $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$	56 gr. 78	54 gr. 32

Les rendements en alcool à 100° exprimés en litres par 100 k. de matière fermentescible seront donc, d'après l'équation de Gay-

Lussac (rendement idéal) et celle de Pasteur (rendement scientifique), en admettant que 94 ou 95 % subissent le dédoublement idéal en alcool et CO² :

	RENDEMENT IDÉAL	RENDEMENT SCIENTIFIQUE	
Dextrose et levulose.	64,45	60,58	61,25
Saccharose et maltose	67,84	63,77	64,45
Amidon	71,60	67,30	68,02

Les résultats fournis par la formule de Pasteur et indiqués dans la dernière colonne, n'ont jamais été surpassés, même dans des essais de laboratoire, et ces chiffres ont été confirmés par ceux de Jodlbauer. Nous avons vu que Claudon et Morin, en opérant scientifiquement avec de la levure pure de vin (*S. ellipsoïdeus*), n'ont obtenu que 50 gr. 615 d'alcool éthylique par 100 gr. de saccharose, chiffre qui correspond à celui trouvé par la formule de Pasteur, en admettant que 94 p. 100 de sucre subissent le dédoublement théorique ($53,8 \times 0,94 = 50,57$).

Dans les fermentations industrielles, de nombreuses causes empêchent d'atteindre de pareils résultats. Nous avons déjà parlé des produits accessoires qui se forment en même temps que l'alcool; dans l'industrie il se produit toujours aussi des pertes par évaporation, par entraînement avec l'acide carbonique toujours plus ou moins saturé de vapeur d'alcool; enfin il y a toujours un peu de sucre qui échappe à la fermentation.

Dans une fermentation d'essai au laboratoire, on obtient tout au plus 62 à 63 litres d'alcool à 100° au lieu de 64 qu'indique la formule de Pasteur. Supposons que dans une fermentation industrielle on arrive à 62 litres et que l'on ait une freinte à la rectification de 3,2 % ou à 62 litres 5 avec une freinte de 4 %, on voit que le rendement final est de

$$62 \times \frac{100-3,2}{100} = 60 \qquad 62,5 \times \frac{100-4}{100} = 60.$$

Pour faire un hectolitre d'alcool à 100° il faut donc

$$\frac{100 \times 100}{60} = 166 \text{ k. } 66$$

de sucre et pour faire un hectolitre à 90°, base des transactions commerciales, il faut $\frac{90}{60} = 150 \text{ k.}$

Il est difficile de dépasser ces résultats dans l'état actuel de l'industrie, et ils constituent, comme nous l'avons vu, à peu près la limite qu'on ne pourra dépasser sans diminuer la freinte à la rectification. En diminuant celle-ci de 2 %, on aurait, avec un rendement en alcool brut de 62,5 à 63 %, un rendement en alcool fini de 61,75 %. Beaucoup d'industriels n'obtiennent que 60 à 61 litres d'alcool à l'état de flegme. On a annoncé dans ces derniers temps des rendements de 63 et même 63,4 litres en flegme obtenus avec des mélasses; il faut se garder de croire que ces rendements indiquent réellement l'alcool obtenu par 100 k. de sucre. Ces résultats sont généralement obtenus en prenant pour base le sucre facturé sans tenir compte du petit boni qui doit forcément être fait à l'acheteur du côté du poids et du côté de la richesse de la marchandise. S'il résulte de ce fait une différence de 1 %, par exemple si l'on a compté que 45 % de sucre au lieu de 40, le rendement de 63 litres 4 ci-dessus tombe à 62 litres.

Ce dernier chiffre correspond, comme nous l'avons dit, à un rendement de 60 litres d'alcool de diverses qualités. Dubrunfaut avait admis le chiffre 56, et, jusque dans ces dernières années, on considérait comme un très bon rendement en alcool brut 61 litres à 100°, ce qui représente 59 litres d'alcool rectifié. Beaucoup d'industriels n'obtiennent que 58 litres d'alcool rectifié à 100°.

Ferments solubles.

382. Nous venons de voir que les ferments solubles ou diastases jouent un grand rôle dans la fermentation, puisqu'un grand nombre de sucres infermentescibles deviennent, par leur action, capables de subir la fermentation alcoolique. Ce rôle nous apparaît encore beaucoup plus considérable depuis que Buchner a démontré que la fermentation alcoolique elle-même n'est qu'une action diastatique. Avant d'aller plus loin, nous devons donc étudier de plus près ces enzymes ou diastases, qui, suivant leur nature et suivant les cas, peuvent être produites par les grains germés ou crus (non germés), par les moisissures ou par les levures.

Ces ferments solubles, que l'on désigne sous les noms généraux de diastases, d'enzymes ou de zymases, dérivent tous directement d'organismes vivants (végétaux ou animaux), au sein desquels ils prennent naissance.

On les trouve chez les végétaux et chez les animaux, et les effets remarquables qu'ils produisent leur assignent une importance considérable pour la transformation des matières organiques et le développement des organes vivants. Ils sont caractérisés par la disproportion énorme entre le poids de matière active et le poids de substance que cette matière est capable de transformer. Ils ne se détruisent pas en agissant, car, après avoir produit un certain effet, ils peuvent, convenablement traités, être mis en état d'en reproduire un autre tout à fait identique. Théoriquement, dit M. Duclaux, ils sont doués de l'immortalité et, par là, d'une puissance indéfinie; la disproportion de l'effet à la cause, si caractéristique pour les microbes, se retrouve donc dans les ferments solubles qui sont compris dans les produits de leurs sécrétions.

Il y a là une action analogue à celle de l'acide sulfurique produisant l'inversion du sucre de canne ou saccharose. Dans ce cas, l'acide sulfurique ne se détruit pas théoriquement pendant la réaction; on peut le retrouver, prêt à agir de nouveau quand elle est terminée.

Une autre propriété des diastases est leur grande instabilité. Il existe d'abord une température à laquelle le ferment en dissolution est détruit complètement, et cette température est assez rapprochée de celle où les matières albuminoïdes se coagulent (70° environ). Lentement desséchées, on peut arriver à leur faire supporter des températures assez élevées; cette propriété leur est commune avec les ferments figurés. En desséchant lentement du malt on peut, une fois qu'il est sec, pousser la température au-delà de 100°, sans lui faire perdre une grande partie de son pouvoir diastasique. En outre, il y a pour chaque ferment soluble une température optima, généralement entre 40 et 60°, à laquelle son activité est la plus grande; au-delà, leur activité baisse très vite, tandis qu'en dessous de cette température, elle baisse très lentement et est encore sensible à 0°. La précipitation par l'alcool n'enlève pas entièrement l'activité des ferments solubles mais la diminue.

Les diastases sont aussi très sensibles à l'action de l'oxygène, surtout en présence de la lumière; un malt vieux est toujours moins énergique qu'un malt frais.

Certains antiseptiques n'empêchent pas l'action des diastases: tels sont l'acide phénique, la créosote, le thymol, le fluorure de sodium et les anesthésiques comme le chloroforme, qui suspendent si bien l'activité des ferments figurés. Mais d'autres antisept-

tiques ont une action très variable suivant la diastase sur laquelle ils agissent; nous en parlerons à propos de chacune d'elles.

L'action d'une diastase est au début proportionnelle au temps et à la quantité de diastase en activité, mais ensuite la transformation va rapidement en se ralentissant, quoique la diastase ne subisse aucune altération; *son action est gênée par les produits de la transformation qu'elle opère.* En faisant disparaître le maltose qui se produit par l'action de l'amylase (du malt ou des moisissures) sur l'amidon, en faisant fermenter ce sucre, la saccharification se continue; M. Lindet est arrivé au même résultat en précipitant le maltose par la phenylhydrazine ($C^6 H^5 Az - Az H^2$) à l'état de maltosazone.

Si on apporte dans un moût dont la saccharification est arrêtée de l'amidon nouveau, celui-ci ne tarde pas à se liquéfier et à se transformer en sucres au contact de la même diastase, qui retrouve son énergie première (Moritz). C'est une nouvelle assimilation à établir entre l'action des diastases et celle des microbes qui, eux aussi, sont gênés par les produits de leur action. La sensibilité des microbes vis-à-vis des agents extérieurs, si grande qu'elle soit, est encore inférieure à celle des diastases, qui sont des réactifs plus délicats qu'aucun de nos réactifs chimiques (Duclaux).

Classification des ferments solubles

383. Les diastases sont encore trop peu étudiées pour qu'on puisse en faire une classification systématique; nous limitant à celles qui nous intéressent plus particulièrement, nous les classerons comme suit :

A. DIASTASES AGISSANT SUR LES HYDRATES DE CARBONE. — On peut distinguer ceux-ci en :

1° *Monosaccharides.* — La diastase peut être hydrogénante, oxydante (laccase de G. Bertrand) ou dédoublante (zymase alcoolique de Buchner).

2° *Di et trisaccharides.* — La diastase peut être hydrogénante, oxydante (laccase) ou hydrolisante. Les diastases ou zymases produisant l'hydrolise de ces hydrates de carbone sont très importantes; telles sont : la *sucre* ou invertine hydrolisant et dédoublant le saccharose; la *mélibiase* (?) qu'on suppose exister dans les levures hydrolisant le mélibiose; la *maltase* hydrolisant et dédoublant le maltose en dextrose; la *tréhalase* hydrolisant le

tréhalose en dextrose ; la *lactase* hydrolysant et dédoublant le lactose en dextrose et galactose.

3° *Polysaccharides par déshydratation*. — Les diastases hydratantes transforment ces polysaccharides en produits plus simples, notamment en disaccharides et en saccharides moins complexes, l'amidon en maltose et dextrine, l'inuline en dextrose. Telles sont l'*amylase*, la *cytase*, l'*inulase*.

4° *Matières pectiques*. — La *pectase* transforme la pectine soluble en acides pectosique et pectique insolubles.

B. DIASTASES OU ENZYMES DÉCOMPOSANT LES GLUCOSIDES. — Ces diastases sont hydrolysantes. Telles sont l'émulsine ou *synaptase* qui décompose l'amygdaline (78), la *myrosine* décomposant l'acide myronique (81), la *rhamnase*, etc.

C. DIASTASES OU ENZYMES PROTÉOLYTIQUES. — Ces diastases produisent la dislocation des matières albuminoïdes en produits plus simples, notamment en albumoses, en peptones et en amides. Telles sont la *pepsine* du suc gastrique, la *trypsine* ou *caséase* du suc pancréatique (1), la *papaïne* du carica papaya et la *présure*.

Nous allons étudier, en suivant l'ordre que nous venons d'indiquer, quelques-unes des diastases citées.

384. *Laccase*. — Cette diastase a été découverte par M. Gabriel Bertrand dans le suc de l'arbre à laque. Elle détermine l'oxydation de l'alcool et le transforme en un vernis noir, insoluble, presque inaltérable, la laque des Chinois et des Japonais. Cette laccase fixe l'oxygène de l'air sur certains corps de la série aromatique analogues au laccol par leur constitution. Le pyrogallol notamment, en présence de la laccase, absorbe l'oxygène de l'air, forme de la purpurogalline avec dégagement d'acide carbonique.

C'est le premier exemple d'une transformation chimique, avec dégagement gazeux, provoqué par un ferment soluble. L'action de la *zymase alcoolique* en est le second.

La laccase est aussi la première découverte d'une série de *zymases oxydantes* ou *oxydases*. La betterave renferme une *oxydase*, la *tyrosinase*, qui oxyde la tyrosine (122 f., p. 88). Quand les cossettes de diffusion sont mal épuisées, elles noircissent ; c'est une preuve que non seulement la *tyrosine* mais encore la *tyrosinase* persistent jusqu'à la fin dans les cossettes.

C'est une *oxydase* qui produit la coloration brune des pelures de

(1) Voir 122, p. 88.

pommes, la coloration violette de la surface mise à nu par la brisure d'un grain de malt, la coloration foncée que prend l'eau de mouillage. L'oxydase qui existe dans le malt favorise l'absorption de l'oxygène et, par suite, la germination.

Zymase alcoolique de Buchner

385. En mélangeant de la levure pressée avec du sable siliceux et de la terre d'infusoires (Kieselguhr), broyant la masse et pressant dans un linge à une pression de 500 atmosphères, on obtient un liquide clair, jaune, opalescent, d'odeur de levure, renfermant 10 % d'extrait. Ce liquide est capable de faire fermenter les hydrates de carbone : saccharose, dextrose, levulose, maltose, que fait fermenter la levure de bière, mais non ceux sur lesquels son influence est nulle, tels que le lactose, la mannite. Cette propriété persiste même après passage du liquide par le filtre de Beckerfeldt, qui arrête sûrement les cellules de levure ; le chloroforme, la benzine et l'arsénite de sodium à 1 % n'empêchent pas la fermentation.

L'ébullition de ce suc lui fait perdre tout pouvoir ferment, en provoquant la formation d'un coagulum important, qui commence déjà à se produire vers 35 à 40° C. Comme toutes les zymases, celle-ci se détruit facilement par oxydation : le suc, conservé, même à la glacière, perd rapidement toute activité, tandis qu'il la conserve en présence du sucre, sans doute parce que, dans ce dernier cas, l'acide carbonique qui se dégage chasse tout l'oxygène. Toutefois Buchner admet pour ce fait de la destruction rapide de la zymase une autre explication : c'est que la levure contient des diastases protéoliques qui digèrent la zymase alcoolique et la détruisent. La zymase peut être précipitée par l'alcool, et le précipité, séché rapidement dans le vide, présente, lorsqu'on le redissout dans l'eau, les propriétés du liquide primitif.

Cette substance présente ceci de remarquable, c'est qu'elle est le premier terme découvert d'une classe de diastases qu'on peut appeler *dédoublantes*.

Le rôle de la levure dans la fermentation alcoolique se borne donc à l'élaboration de la substance active, mais elle ne prend pas une part directe à la fermentation. Ce fait avait déjà été soupçonné et même annoncé par Traube en 1858 et par Berthelot

en 1860 (1), mais c'est Buchner qui en a donné une démonstration évidente.

Sucrase ou invertine.

386. Le saccharose n'est pas directement assimilable par les animaux et par les végétaux ; ceux-ci sécrètent de la sucrase ou invertine qui le transforme en dextrose et lévulose, sucres assimilables. Dans les plantes, c'est surtout au moment de la floraison et de la fructification que la sucrase apparaît et forme du sucre inverti qui contribue à leur nutrition. Les moisissures et les levures agissent de la même façon ; on trouve de la sucrase dans la plupart des levures cultivées.

La sucrase est soluble dans l'eau ; pendant la fermentation, elle se répand dans le liquide. Il est facile de s'en préparer une solution en faisant macérer pendant quelques heures de la levure fraîche dans de l'eau ; quelques gouttes de cette solution mises dans une solution de saccharose produisent rapidement l'inversion.

En desséchant de la levure avec précautions, on peut en extraire par l'eau une très grande quantité d'invertine et séparer celle-ci de la solution en la précipitant par l'alcool. D'après O'Sullivan, on ne peut jamais extraire de sucrase de la levure saine ; de l'eau maintenue au contact avec de la levure, puis filtrée, n'a aucune action sur le sucre de canne. Dans les conditions normales, l'inversion n'a lieu qu'en présence de la levure et cesse aussitôt que le ferment figuré est éliminé. On ne trouve pas d'enzyme dans un liquide sucré où la levure était dans les conditions favorables à son développement, conditions obtenues en faisant passer un courant d'air dans le liquide. Il est probable, d'après O'Sullivan, que l'enzyme sécrétée par le protoplasma n'est pas diffusible et reste dans la cellule où elle a pris naissance ; si la cellule meurt, l'invertine peut alors se diffuser et se répandre dans le liquide environnant, ce qui explique comment, dans la plupart des cas, on a pu extraire ce ferment soluble de la levure morte.

L'action de la sucrase est la plus intense dans des solutions à

(1) « D'après M. Pasteur, la fermentation alcoolique est liée à la production de la levure ; selon M. Berthelot, elle résulte de l'action d'une substance élaborée par la levure ; cette dernière réalise les meilleures conditions d'une transformation prompte et complète, mais elle n'est pas indispensable » (voir Schützenberger, Les fermentations, 6^e édition, 1896).

20 p. 100 de saccharose, à une température de 52 à 56° C. A 70° C elle perd son pouvoir inversif.

L'action inversive de la sucrase paraît illimitée ; d'après Thomson et Brown, une dose de sucrase ayant dédoublé 100.000 fois son poids de sucre conserve encore son activité.

L'inversion du sucre de canne par les acides n'est pas nécessaire pour la fermentation, puisque la levure produit elle-même cette inversion, grâce à la sucrase qu'elle sécrète, et la sucrase suffit à la consommation des cellules, pourvu que la température soit de 15 à 25° C, condition qui est toujours réalisée. Le travail qu'accomplit la levure en produisant l'inversion apporte cependant un certain retard dans le départ de la fermentation, ce qui peut parfois être la cause d'inconvénients sérieux, et une inversion partielle même très faible du sucre avant la mise en levure peut être jusqu'à un certain point utile.

On n'a pas à craindre que l'action de la sucrase soit entravée par les antiseptiques qu'on pourrait employer à la fermentation, car les ferments solubles sont plus résistants à l'action des antiseptiques que les ferments vitaux.

Maltase (Glucose de Cuisinier)

387. Cette diastase se trouve dans les grains avant la germination et existe également en petite quantité dans les grains germés. Brown et Morris lui ont donné le nom de diastase de déplacement.

Tandis que les diastases des grains germés possèdent un pouvoir dissolvant de l'amidon très prononcé, la maltase attaque à peine l'amidon cru et même l'amidon liquéfié par de l'extrait de malt puis porté à l'ébullition. Cuisinier a découvert dans les grains de maïs non germés une diastase qui possède la propriété de transformer la dextrine et le maltose en dextrose, et qu'il a appelée *glycase*.

En 1877-78, il construisit à Viarmes, près de Paris, une petite usine où il fabriqua 1000 kilos de ce sucre par jour.

En 1891 M. Geduld, reprenant l'idée de Cuisinier, concernant l'existence, dans les grains de maïs, d'une diastase du maltose, démontra que cette diastase agit sur le maltose comme l'invertine agit sur le sucre de canne, et qu'elle transforme énergiquement la dextrine et le maltose en dextrose.

La maltase agit le mieux vers 50° ; vers 65° elle perd de son énergie et à 75° elle est presque entièrement paralysée.

La maltase est partiellement soluble, partiellement insoluble ; quand on veut s'en servir pour la préparation du dextrose, on fait donc bien d'ajouter à la solution que l'on veut invertir le maïs en farine au lieu d'un extrait aqueux.

La maltase semble exister régulièrement dans les levures, et c'est à elle qu'il faut attribuer la fermentation du maltose et des malto-dextrines sans inversion préalable. On peut extraire de la maltase de la levure séchée à l'air, en la traitant par l'eau ; la levure humide n'abandonne pas sa maltase dans ces conditions.

Les moisissures et les bactéries sécrètent probablement aussi de la maltase.

Tréhalase

388. Cette diastase existe dans les cultures d'*Aspergillus niger* à côté d'autres diastases, notamment la *sucre* et la *maltase*. Elle possède la propriété de dédoubler le tréhalose $C^{11}H^{22}O^{11}$ en 2 molécules de dextrose.

La tréhalase agit de préférence dans un milieu acide et à une température d'environ 54-55° C. ; à une température plus élevée, elle perd de son énergie et à 64° C. elle n'agit presque plus.

Inulase

389. L'*inulase* existe dans le topinambour ayant germé et dans quelques moisissures telles que l'*Aspergillus niger* ; elle transforme l'inuline en lévulose. D'après Bourquelot elle agit le mieux entre 45 et 50° C. La propriété de l'inulase n'a pas encore été appliquée ; comme nous l'avons vu (221, p. 228), c'est par l'action des acides qu'on produit l'inversion de l'inuline.

Lactase

390. Cette diastase a été isolée par E. Fischer ; elle hydrolise et dédouble le lactose en donnant du dextrose et du galactose.

Amylase

391. L'amylase ne préexiste pas dans les grains, mais se produit seulement lors de la germination; Brown et Morris l'appellent diastase de sécrétion. C'est la diastase la plus importante au point de vue de la distillerie et de la brasserie. Elle possède seule le pouvoir de dissoudre énergiquement la fécule et l'amidon, mais elle est incapable de pousser l'hydratation de l'amidon au-delà du terme maltose.

Nous avons déjà étudié la plupart des propriétés de l'amylase à propos de l'amidon, du maltage et de la saccharification; il ne nous reste donc que peu de choses à en dire.

L'amylase existe en abondance dans les fèves de soja. Parmi les grains germés, on la rencontre en forte proportion dans les germes des fèves (*Vicia faba* et *Phaseolus multiflorus*), dans les grains du sarrasin, etc.

Une solution d'amylase présente les réactions suivantes :

Elle ne réduit pas la liqueur cuivrique, même après ébullition avec de l'acide chlorhydrique.

En portant à l'ébullition une solution aqueuse d'amylase, il se forme un précipité floconneux; l'addition d'acide chlorhydrique produit un précipité qui se redissout dans un excès d'eau ou dans la soude caustique.

L'acide acétique produit un précipité soluble dans un excès de réactif.

Le sublimé (chlorure mercurique), l'acétate de plomb et le ferrocyanure de potassium produisent également un précipité.

L'acide nitrique et le réactif de Millon donnent la réaction des matières albuminoïdes.

Le tannin donne un précipité comme avec les matières albuminoïdes, en même temps qu'il paralyse la diastase. De l'amylase sèche, chauffée doucement avec un peu d'acide chlorhydrique fumant, donne une coloration violette intense.

Pour déceler les plus petites traces de diastase, par exemple dans de l'eau de mouillage de l'orge, de maïs, de froment, etc., on a recours à la réaction du gayac qui est tout-à-fait caractéristique et que donnent tous les ferments.

On dissout quelques grains de résine de gayac dans quelques gouttes d'alcool. A 1 ou 2 cc. de cette solution, on ajoute quelques gouttes d'eau oxygénée; s'il se produit un trouble, on le fait dis-

paraître par l'addition d'un peu d'alcool. En ajoutant à cette solution une goutte d'une solution de diastase (1/2 gr. par litre), il se produit immédiatement une coloration bleue intense. La matière colorante qui se produit est soluble dans l'éther, le benzol (benzine), le chloroforme, le sulfure de carbone. Tout ce qui arrête l'action de la diastase empêche également la réaction du gayac.

Dans les laboratoires on emploie souvent, pour faire les saccharifications, l'extrait de malt obtenu en faisant macérer à froid, pendant 3 ou 4 heures, du malt finement moulu avec de l'eau, et filtrant cette macération. On emploie aussi la diastase préparée par le procédé de Lintner ou celui d'Osborne.

Procédé Lintner. — On fait digérer pendant 24 heures 1 partie de malt séché à l'air et finement moulu, avec 2 à 4 parties d'alcool à 20 o/o. La liqueur filtrée est précipitée par 2 ou 2 fois 1/2 son volume d'alcool absolu. Le précipité, rapidement recueilli sur un filtre, est broyé avec de l'alcool absolu, puis filtré, lavé rapidement à l'alcool, puis à l'éther, et séché dans le vide sec. On obtient ainsi une masse blanche pulvérulente, qui se dissout dans l'eau en donnant une solution limpide, et dont 1 milligramme saccharifie en 1/4 d'heure 1 gramme d'amidon.

Il est nécessaire de bien enlever l'eau de cette diastase par l'alcool et l'éther si on veut éviter d'avoir un produit trop compact. Pour enlever les matières minérales, il est nécessaire de soumettre la solution de diastase à la dialyse. Osborne a employé un autre procédé de purification. Pour séparer la diastase des hydrates de carbone, il redissout la diastase dans l'eau et la précipite par le sulfate d'ammoniaque; le précipité est débarrassé des globulines par dialyse, des albumines et protéoses par précipitations fractionnées au moyen de l'alcool. En cherchant à purifier davantage, Osborne remarqua que la diastase perdait beaucoup de son énergie et devenait finalement inactive. Osborne en conclut que la protéide constituant la diastase n'est pas le seul facteur qui agit dans la scission de l'amidon. Il est probable, d'après lui, que les enzymes purs sont peu actifs et que pour être en possession de tout leur pouvoir saccharifiant, ils réclament la présence de substances accessoires que la purification leur enlève. L'albumine semble être une de ces substances, car une diastase privée d'albumine serait complètement inactive. Certaines substances minérales, le sel marin, les phosphates alcalins, l'acide phosphorique, l'acide acétique et l'acide citrique, favorisent également la diastase.

Lintner croyait que la diastase préparée par son procédé était pure; d'après Fernbach, au contraire, cette diastase était tellement impure qu'elle ne renfermait probablement pas plus de 1/100 de milligr. de substance active : les travaux d'Osborne donnent plutôt raison à M. Fernbach.

La diastase préparée par Osborne agissant à une température de 20 à 45°, transforme plus de 2000 parties d'amidon soluble en maltose dans l'espace d'une demi-heure. A 50° C, sa solution se trouble et perd de sa force diastatique; à 56° C, la matière se coagule et devient complètement inactive.

D'après les analyses d'Osborne, cette substance a exactement la composition des matières albuminoïdes: elle a toutes les propriétés de la matière qu'Osborne a séparée du froment, du seigle et de l'orge et qu'il a nommée *leucosine*, et elle se comporte comme une véritable albumine.

La diastase du malt est, comme nous l'avons dit à propos du maltage, très sensible à l'action de la lumière et à celle de l'oxygène. Une solution aqueuse de diastase se conserve pendant un certain temps, puis elle perd rapidement son activité. Le moment où cette altération se produit est désigné par Effront sous le nom de point critique : il est de 1/2 heure à 60-65° C, de 3 heures à 45° C. et de 15-18 heures vers 30-40° C.

La diminution de l'énergie diastatique est toujours accompagnée de la précipitation de matières azotées; Effront croit que ce fait est dû à une oxydation, car la diastase se conserve mieux dans un courant d'acide carbonique que dans l'air. La température a ici une grande influence, car Effront a trouvé qu'un extrait de malt perdait dans le même temps 3 à 10 % de son énergie à 40° C, 10-20 % à 45° C, 20-35 % vers 50° C et 30-50 % vers 60° C.

Au-dessus de 80-85° C, la diastase est complètement coagulée et perd toute énergie. Mais la coagulation commence à des températures beaucoup plus basses, et à mesure que la coagulation augmente, la force diastatique diminue, en sorte que la force diastatique semble être fonction des matières albuminoïdes qui restent en dissolution.

L'acide carbonique accélère déjà l'action de la diastase à la pression ordinaire, mais encore davantage sous une pression plus élevée. L'acide fluorhydrique, à des doses qui entravent la fermentation lactique et la fermentation butyrique, a une action très défavorable à 55° C, mais pas nuisible à 30° C. Par contre, les

composés fluorés sont très favorables à la diastase et peuvent conserver longtemps son énergie.

C'est surtout en présence des microorganismes que la diastase perd rapidement de son énergie, par suite des produits engendrés par les fermentations auxquelles ces microorganismes donnent naissance : tels sont en particulier l'acide lactique et l'acide butyrique qui se développent spontanément dans les moûts ou que l'on produit intentionnellement pour donner à la levure le milieu acide qui lui convient.

La diastase du malt produit sur l'amidon, comme nous l'avons vu, deux actions différentes : une action liquéfiante et une action saccharifiante. Ces deux actions sont distinctes ; en effet, tandis que la saccharification se fait le mieux à 50-55° C, la liquéfaction ne se fait rapidement que vers 70° C et n'est pas encore complètement arrêtée même à 90° C.

De l'observation de ces deux actions on ne peut pas conclure à l'existence de deux diastases différentes, l'une liquéfiante et l'autre saccharifiante, pas plus qu'on ne peut conclure à l'existence de deux diastases saccharifiantes, l'une produisant de la dextrine et l'autre du maltose. Bourquelot a constaté que des solutions diastatiques longuement chauffées à 68° C produisent aussi bien la liquéfaction de l'amidon et la transformation en dextrine que les solutions non chauffées, mais qu'elles ne produisent que très peu de maltose. Donc, si l'existence de diastases diverses correspondant à l'action liquéfiante ou à la transformation en maltose et en dextrine n'est pas probable, il n'en est pas moins vrai que la diastase subit des transformations qui accusent une certaine constance.

L'amylase exerce son action liquéfiante d'une façon presque instantanée sur l'amidon réduit en empois ; elle attaque également l'amidon cru, mais avec plus ou moins de rapidité suivant l'espèce d'amidon sur laquelle elle agit.

L'action de la diastase sur l'amidon des céréales n'ayant subi aucune préparation (grains crus) est confirmé par le fait observé par Vuylsteke, que la levure en présence de diastase et à une température de 20-30° C, peut faire fermenter une grande partie de l'amidon du malt d'orge, de l'orge crue, de l'avoine, du froment, du riz et du maïs, tandis que la fécule de pommes de terre n'est, dans ces conditions, presque pas attaquée.

Nous avons dit que la diastase trouve dans la présence du sucre une certaine protection contre les températures élevées.

Maercker a complété cette observation de Petzolt en établissant que le maltose produit cet effet, tandis que le saccharose ne le produit pas.

A l'état sec, la diastase peut supporter des températures allant jusqu'à 120-125° sans la tuer : nous avons vu l'application de cette propriété à propos du touraillage.

392. *Action des antiseptiques sur l'amylase.* — Lintner (1) donne les indications suivantes sur l'action des antiseptiques sur l'amylase : les chlorures de sodium, de potassium et de calcium en solutions peu concentrées sont sans influence sur la saccharification, mais, à la dose de 2 p. 100 pour le chlorure de potassium et de 4 p. 100 pour le chlorure de sodium, ils sont nettement favorables.

Le sulfate de cuivre, à la dose de 0,1 p. 100; le carbonate de sodium, à la dose de 0,4 à 0,5 p. 100, entravent la saccharification. Une teneur de 0,01 p. 100 en ammoniac ou de 0,01 p. 100 en acide sulfurique affaiblissent l'action de la diastase; avec 0,2 p. 100 d'ammoniac et 0,1 p. 100 d'acide, l'action diastasique cesse complètement, tandis que de très petites doses d'acide de 0,2 p. 100 augmentent la force de la diastase.

Une solution d'acide phénique à 3 p. 100 ne tue pas encore la diastase. Une solution à 1 et même 2 p. 100 d'acide phénique ou à 2 jusqu'à 5 p. 100 d'iodoforme ne nuit pas d'une façon générale; mais, par contre, l'acide salicylique à 0,1 p. 100 (1 gr. par litre) et le chlorure mercurique (sublimé) à 1 ou 2/100.000 annulent l'action de la diastase (285).

D'après Moritz, le sulfate de sodium et le nitrate de sodium sont sans influence sur l'action de la diastase; le sulfate de calcium et le sulfate de magnésium ont une influence peu sensible; la soude, même à petite dose, l'entrave notablement; le sel marin, à la dose de 20 à 40 gr. par hecto, serait favorable à l'action de la diastase; ce résultat est contesté par Windisch, mais Effront a reconnu qu'il est exact, à la condition que le sel soit chimiquement pur.

Les plus grands ennemis de la diastase sont, d'après Kjeldahl, les sels des métaux lourds, l'alun, les arsénites et les arséniates. L'acide borique et l'acide sulfureux, ainsi que leurs sels, sont supportés par la diastase, même à des doses assez fortes. L'éther ordinaire (14) ne lui est pas nuisible.

Les acides libres à des doses capables de coaguler les matières

(1) Handbuch der landwirthschaftlichen Gewerbe.

albuminoïdes sont très nuisibles : tels sont les acides oxalique, lactique, acétique, chlorhydrique, nitrique, sulfurique, tandis que l'acide phosphorique normal $\text{PO}(\text{OH})_3$ doit être inoffensif.

Les acides minéraux très étendus peuvent, d'après Kjeldahl, renforcer l'action de la diastase de 0,44 à 0,49; le même fait a été reconnu par Brown et Morris (285, p. 329).

D'après Duggan, une très petite dose de solution de soude caustique en présence d'une grande quantité d'amidon peut réduire l'action diastatique de 100 à 26. Effront a également trouvé que des solutions alcalines, même très étendues, peuvent annuler l'action de la diastase. Le carbonate de sodium est extrêmement nuisible : une dose de 0 gr. 05 agissant sur 100 gr. d'empois suffit pour réduire de 53,3 à 3,10 % la teneur en maltose de la substance soluble sèche produite par l'action de la diastase, c'est-à-dire qu'elle annihile presque la saccharification proprement dite.

D'après Effront, les sels d'alumine, l'acide phosphorique, le phosphate monocalcique et le sulfate d'ammonium sont très favorables à l'action diastasique, tandis que les sulfates de potassium et de sodium sont sans influence.

Enfin, l'asparagine (47) serait très favorable à l'action de la diastase. D'après Effront, une addition de 0 g. 04 d'asparagine à 100 g. d'empois fait monter la teneur en maltose de l'extrait sec, de 22,3 à 66,2 p. 100.

Cytase.

393. On oublie assez généralement, dit M. Fernbach, que la saccharification ne réside pas seulement dans la transformation de l'amidon en maltose et dextrine. Pour que cette transformation se produise, il faut que l'amidon passe tout d'abord de la forme insoluble à la forme soluble ; le premier stade de la saccharification doit donc être une solubilisation ou une liquéfaction. Cette liquéfaction est d'autant plus rapide que la température se rapproche plus de 70° C. ; d'après Herzfeld, elle atteint son maximum d'intensité à 73° C.

L'action de la cytase n'est pas encore annulée par une température de 94° C.

Brown et Morris ont découvert cette diastase dans l'orge germée, où elle se trouve contenue dans l'épithélium absorbant du scutellum (ε fig. 78, p. 247) avec l'amylase ou diastase de sécré-

tion. Pendant la germination, elle dissout les membranes des cellules de l'endosperme. On peut extraire cette diastase du malt par l'eau et la précipiter par l'alcool comme la diastase proprement dite. Jusqu'ici on n'a pas réussi à préparer la cytase exempte d'amylase, mais plusieurs circonstances plaident en faveur d'une différence complète des deux diastases. A 60° C. l'action de cette enzyme est presque nulle.

Les produits de l'action de la cytase sur la cellulose ne sont pas encore connus.

Pectase

394. Cette enzyme ou diastase transforme la pectine, substance soluble, en acides pectosique et pectique insolubles (p. 90). Le jus de betteraves abandonné à lui-même est sujet à cette fermentation. Comme cet abandon donnerait lieu au développement de ferments beaucoup plus dangereux, notamment des bactéries et levures sauvages, et que la pectine ne semble présenter aucun intérêt pour la fermentation alcoolique, nous ne nous occuperons pas davantage de la pectase.

Pepsine

395. La pepsine est une enzyme protéolytique qui se rencontre dans le suc gastrique des animaux supérieurs où elle est l'agent actif de la digestion des matières azotées. On la trouve aussi dans un certain nombre de semences et dans les organes glandulaires des plantes dites carnivores (Drosera, Nepentes).

La pepsine, en agissant sur l'albumine dans un milieu acidulé par un acide minéral ou organique à une température de 30 à 80° C donne d'abord de l'albumose soluble dans l'eau et dans l'alcool à 50° G. L., puis de la peptone dialysable. Le meilleur acide est l'acide chlorhydrique et la meilleure température celle de 50° C.

En continuant d'agir sur l'albumine, la pepsine peut la transformer en produits plus simples qui sont les amides.

D'après une étude récente de M. Loé, la pepsine n'existe pas dans le malt, comme on l'a dit souvent.

Trypsine

396. La trypsine ou caséase est le principe actif du suc pancréatique des animaux ; elle n'a pas été rencontrée chez les végétaux, sauf dans la sécrétion de quelques organismes inférieurs. En agissant sur les matières albuminoïdes, elle donne d'abord une globuline soluble dans l'eau alcaline et dans le chlorure de sodium, puis de la peptone et, si l'action est suffisamment prolongée, de la leucine et de la tyrosine (110, 122, p. 88).

On sait que les levures, cultivées sur moût gélatinisé, arrivent à liquéfier peu à peu cette gélatine, et que cette liquéfaction se fait plus facilement lorsque la gélatine est alcaline que lorsqu'elle est acide. Beyerinck pense que la sécrétion qui produit cette liquéfaction n'est pas de la pepsine, mais une diastase analogue au suc pancréatique, une *trypsine*, car la liquéfaction cesse lorsque l'acidité atteint une dose à laquelle la pepsine agit encore énergiquement, soit 2 gr. 2 d'acide chlorhydrique anhydre par litre.

Cette trypsine de la levure agit sur le gluten, sur la caséine, l'albumine, la fibrine. Les levures de bière en élaborent plus que les levures de grains, et on trouve dans ce fait une explication des différences que présentent ces deux sortes de levures lorsqu'on les emploie dans la panification. On sait déjà qu'il y a une différence au point de vue du goût et de la rapidité du départ de la fermentation, de ce qu'on appelle la *pousse*. Il y en a une autre qui résulte du fait que nous venons de citer : c'est que les levures de bière liquéfient plus le gluten que les levures de grains, et que, dès lors, avec elles, on obtient un pain qui retient moins facilement l'acide carbonique, parce que la pâte devient plus fluide (1).

Composition chimique de la levure

397. Comme la levure, en produisant la fermentation, transforme beaucoup de matières azotées, et que sa constitution varie suivant la façon dont elle est nourrie et suivant les conditions dans lesquelles elle se développe, il est impossible de donner une

(1) Centralblatt f. Bacteriol, d'après les Annales de la Brasserie, n° 1, 1898.

analyse type. La richesse en azote de la matière sèche de la levure peut varier de 5 à 12 p. 100.

La teneur en eau de la levure pressée est de 74 à 76 p. 100, soit en moyenne 75 p. 100. Sa substance sèche se compose généralement de :

30 à 40 % de cellulose.		Composition des cendres :		
50 à 60 — d'albuminoïdes.		Environ 80 % phosphate de potassium.		
2 à 7 — de matières grasses.		— 15 — —	magnésium.	
2 à 7 — de cendres.		— 5 — —	calcium.	

La cellulose des cellules de levure n'est pas identique à celle des végétaux supérieurs ; elle n'est pas soluble dans l'oxyde de cuivre ammoniacal. Cette cellulose se forme probablement aux dépens du sucre.

La proportion de matières grasses peut atteindre 20 p. 100 dans des globules vieux et dégénérés.

Comme hydrates de carbone, on rencontre à l'intérieur des cellules, entre autres, le glycogène (10 à 15 p. 100) et le dextrose. Le glycogène peut être formé aux dépens de beaucoup de substances que la levure ne peut faire fermenter.

Ce qu'il y a de particulier pour la levure, c'est sa forte teneur en matières azotées, qui est de 50 à 60 p. 100. D'après Juslin, les matières albuminoïdes forment les 86 à 90 p. 100 de la matière azotée. On rencontre aussi de la nucléine dans la levure.

Les matières protéiques de la levure sont en partie solubles et en partie insolubles dans l'alcool.

Nutrition de la levure

398. Parlant de l'alimentation des microbes en général, M. Duclaux (1) dit : « Nous pouvons appeler aliment toute matière à laquelle un microbe donné, dans les conditions de l'expérience, peut emprunter les matériaux de son organisation, et la chaleur nécessaire pour se rendre indépendant de la chaleur solaire. Le *total* de l'action protoplasmique doit être exothermique, et même, d'ordinaire, il reste un peu de chaleur en excès qui élève la température du milieu en fermentation. Ainsi une masse de vendange en fermentation s'échauffe notablement. »

(1) *Traité de Microbiologie*, Tome I. Masson, 1898.

On sait que le sucre est un corps endotherme, c'est-à-dire qu'il renferme une certaine quantité de chaleur qui devient libre par sa décomposition ; celle-ci est donc exothermique.

Quant aux produits de la vie cellulaire, on peut en donner, dit M. Duclaux, une définition inverse « Un produit microbien est une substance inattaquable dans les conditions de l'expérience pour le microbe qui l'a formée, mais qui pourra redevenir alimentaire à son tour si les conditions changent, ou si le microbe revêt de nouvelles propriétés, ce dont il est fort capable, ou si d'autres microbes interviennent. Le milieu que se crée le microbe est pour lui de moins en moins nutritif, de plus en plus antiseptique. L'alcool est antiseptique pour la levure, l'acide acétique pour le ferment acétique, l'acide butyrique, pour les microbes de Perdrix et de Grimbert, l'acide lévulactique pour le colibacille de M. Péré, qui le produit aux dépens du sucre.

» En étudiant la combustion ménagée d'alcools polyatomiques tels que la mannite et la glycérine, par le *Bacillus subtilis* du foin ou le *Tyrothrix tenuis* (en ne donnant au microbe que de l'azote ammoniacal), M. Péré a vu que ces corps subissent tout d'abord une oxydation qui les prive de 2 atomes d'hydrogène, et les transforme en sucres, aldoses ou cétooses, ayant le même nombre d'atomes de carbone que l'alcool générateur. Les hydrates de carbone complexes, disaccharides ou hexobioses (67) et les amidons (87), donnent de même des hexoses, sous l'action des diastases microbiennes. Puis tous ces sucres ainsi formés sont invariablement ramenés sous la forme d'un sucre à 3 atomes de carbone, qui est le même pour tous, et fait tourner à gauche le plan de polarisation. Ce sucre est une aldose CH^2OH , CHOH , COH . Elle est donc à la fois aldéhyde, alcool primaire et alcool secondaire. Elle réduit la liqueur de Fehling comme les sucres, est partiellement volatile comme l'aldéhyde, et, comme elle, est très instable vis-à-vis des alcalis, qui en font du formiate. Elle est aussi très instable vis-à-vis de l'action solaire, surtout en présence des alcalis.

» Ce sucre $\text{C}^3\text{H}^6\text{O}^3$ est lui-même très passager. Il se forme en proportions variables pendant la transformation qui le produit. Le *Tyrothrix tenuis*, en présence du glucose, commence à le détruire avant que tout le glucose ait disparu ; en présence de glycérine, il le laisse d'abord s'accumuler dans le liquide de culture, mais il peut s'habituer à le consommer plus vite, et, par desensemencements successifs, on peut obtenir un microbe qui détruit le glucose sans donner à aucun moment trace de glycérose.

» Enfin, ce glycérose, bien que sa molécule soit peu compliquée, laisse lui-même un produit de combustion intermédiaire qu'on peut saisir, c'est l'aldéhyde formique CH_2O , et c'est ici que nous retrouvons notre assimilation entre les produits d'une fermentation et les antiseptiques. Cette aldéhyde formique (8) est, en effet, un antiseptique très actif, qui ne peut par conséquent pas être produit en quantités bien sensibles, mais qui pourtant peut être consommé par le microbe qui l'a produite, comme M. Péré s'en est assuré directement en l'offrant à des cultures prospères de *Tyrothrix tenuis*. L'acide formique se comporte de même. Il est à la fois antiseptique et alimentaire. Cela dépend de ses proportions, et en outre du degré d'acclimatation du microbe auquel on le présente ».

Nous avons cité presque textuellement ces pages de M. Duclaux, qui font bien ressortir la contingence qui existe entre les aliments et les antiseptiques. Étudions maintenant l'alimentation de la levure.

On doit évidemment retrouver dans les aliments nécessaires au développement de la levure, les éléments qui entrent dans sa composition. Nous aurons donc à considérer l'alimentation azotée, l'alimentation hydrocarbonée et l'alimentation minérale des levures.

a) *Alimentation azotée des levures.* — Les levures, pas plus que les plantes, ne peuvent tirer directement de l'air l'azote qui sert à former les matières protéïques ou azotées qu'elles renferment; elles peuvent le tirer de matières minérales ou de matières organiques.

Pasteur, ayant reconnu que l'ammoniaque contenue dans les jus sucrés disparaissait pendant la fermentation, sans qu'il y eût un dégagement sensible d'azote, en conclut que très probablement l'azote de cette ammoniaque était assimilé par la levure et employé par elle à la formation de ses matières albuminoïdes. Il imagina de cultiver la levure dans un milieu artificiel composé d'eau, de sucre, de cendres de levure et d'un sel ammoniacal, le tartrate d'ammonium. Il vit encore dans ce cas l'ammoniaque disparaître, et comme il s'était formé une grande proportion de levure, on pouvait admettre que l'azote disparu avait servi à la formation des matières albuminoïdes de cette levure.

A. Mayer démontra que l'on peut remplacer le tartrate d'ammoniaque par d'autres sels ammoniacaux, notamment le nitrate. La levure alimentée exclusivement avec des sels ammoniacaux végète cependant moins vigoureusement. Les nitrates peuvent servir d'aliments aux moisissures et bactéries, mais pas à la levure.

Les matières albuminoïdes sécrétées par les animaux et les végétaux sont relativement peu propres à la nutrition azotée des levures, mais elles peuvent se transformer en peptones et en amides qui constituent d'excellents aliments.

Dans les grains employés en distillerie, on rencontre des matières azotées solubles dans l'eau qui deviennent insolubles par la chaleur (coagulation) et d'autres qui sont insolubles dans l'eau. Parmi ces dernières quelques-unes se dissolvent dans les acides étendus et deviennent assimilables. Les matières azotées solubles ne sont pas diffusibles ou dialysables, c'est-à-dire qu'elles ne peuvent pas traverser la membrane des cellules et sont par suite impropres à la nutrition de la levure. Un ferment soluble, la *peptase* (384), dont on admet la présence dans le malt, peut les transformer en matières diffusibles et incoagulables, les peptones, qui sont nutritives. De petites doses de pepsine peuvent, notamment en présence d'une petite quantité d'acide, transformer une forte proportion d'albumine en peptone sans subir elle-même une modification.

On a souvent mis en doute la formation de peptone pendant la germination; d'après les recherches les plus récentes, elle semble cependant toujours avoir lieu (229). A côté des peptones se trouvent des produits ayant une composition beaucoup plus simple, les amides, que l'on peut attribuer à une action plus avancée de la pepsine sur les matières albuminoïdes. Les amides, extrêmement diffusibles, constituent un bon aliment pour la levure. Dans une solution nutritive contenant à la fois des peptones et des amides, la levure absorbe d'abord les amides puis les peptones. Parmi les amides, l'asparagine semble tout particulièrement appropriée à la levure, aussi s'en sert-on toujours pour préparer des solutions nutritives aussi favorables que possible. M. Schützenberger (1) dit cependant que l'asparagine s'est, dans ses expériences, montrée fort peu nutritive pour la levure. D'après M. Martinand, l'assimilabilité de l'asparagine n'est pas démontrée.

M. Kayser partage cette opinion; d'après lui elle se transforme peut-être au préalable en aspartate d'ammoniaque qui est absorbé.

La levure peut aussi s'assimiler le carbone de l'asparagine, tandis qu'elle ne peut s'assimiler que l'azote de l'urée.

L'urée, l'acide urique, la guanine, la pepsine (celle-ci, sans doute, en raison des principes en partie digérés qui l'accompa-

(1) P. Schützenberger. Les fermentations, 6^e édition, 1896.

gnent), conviennent également à la levure. L'albumine, la caséine, la caféine n'ont aucune propriété nutritive ; quant à la créatine, la créatinine, l'extrait de viande, ce sont là des aliments assez médiocres.

Une excellente nourriture pour la levure est le bouillon de levure. La levure renferme des quantités notables d'amides et d'acides amidés, notamment de la leucine [acide amido-caproïque $[C^6 H^{11} (Az H^2) O^2]$ (1), et c'est à ces corps qu'il faut attribuer les propriétés nutritives de l'eau de levure. Mais il faut que la levure employée pour faire la décoction soit jeune ; avec la levure vieille on obtient trop de produits d'excrétion (créatine, créatinine) bien moins nutritifs.

La vinasse qu'on emploie dans l'épuisement des betteraves et dans la fabrication de la levure pressée est quelquefois considérée comme un bouillon de levure ; elle renferme, en effet, certains principes de la levure ; mais l'ébullition qu'elle a subie est très faible avec les appareils qu'on emploie actuellement, en sorte que les cellules de levure n'ont abandonné que très peu de leurs matières azotées nutritives.

Par suite de ce manque d'ébullition, la vinasse n'est généralement pas stérile ; aussi faut-il faire de fréquentes liquidations quand le travail n'est pas soigné. Dans les fabriques de levure pressée la vinasse est cuite sous pression avant d'être employée, ce qui a surtout pour but une clarification facile, mais a en outre l'avantage d'enlever à la levure une partie des matières solubles qu'elle retient, et surtout de produire une stérilisation qui présente une grande importance dans une industrie où il existe tant de causes de contamination.

Alimentation hydrocarbonée des levures

399. Tandis que les végétaux supérieurs tirent leur carbone de l'acide carbonique de l'air, la levure est obligée de l'emprunter uniquement à des substances organiques toutes préparées.

Les matières hydrocarbonées dont la levure peut se nourrir varient suivant la race de levure employée et surtout suivant le genre d'existence que mène la levure : aérobie ou anaérobie.

Les aliments hydrocarbonés que préfère la levure sont les

(1) $CH^3 CH^2 CH^2 CH^2 CH (AzH^2) CO^2 H.$

sucres, et la décomposition nutritive des sucres par la levure constitue à elle seule toute la fermentation alcoolique; mais la levure peut aussi se nourrir de mannite, de glycérine, d'amygdaline, de salicine et même de dextrine et d'amidon. Ce n'est que dans son existence aérobie qu'elle peut absorber l'amidon et la dextrine.

D'après Pasteur, sur 100 parties de sucre qui subissent la fermentation, il y environ une partie qui est utilisée à former les cellules de levure.

La levure ne peut pas vivre aux dépens des alcools que les moisissures consomment au contraire avec avidité.

La levure peut aussi se nourrir de certains sels organiques : acétates, lactates, citrates, tartrates, malates, succinates, et de certains acides : acide tartrique, malique, citrique. L'assimilation de la salicine, de l'amygdaline, etc., des malates, des acétates, etc., est sans doute précédée d'une sorte de dédoublement à l'extérieur du globule de levure, comme cela a lieu dans la maturation des fruits. (Kayser. Les Levures).

Alimentation minérale des levures

400. Pasteur a le premier démontré que la levure ne pouvait se développer en l'absence d'aliments minéraux.

En ensemençant une trace de levure dans une solution sucrée renfermant du tartrate d'ammoniaque et les produits solubles des cendres de la levure, on obtient une fermentation régulière, tandis qu'elle devient impossible si on supprime les cendres. La fermentation est également moins bonne si l'on modifie la nature des principes minéraux des cendres de levure, si l'on supprime les phosphates, si l'on remplace les cendres par du phosphate de magnésium ou si ces cendres ont été chauffées au rouge blanc qui volatilise les alcalis.

D'après les expériences de A. Mayer, le phosphate de potassium est de tous les sels pouvant servir à la nutrition minérale de la levure celui dont l'effet est le plus marqué, et nous avons vu que ce sel constitue les $\frac{80}{100}$ des cendres de la levure. Ce sel ne peut être remplacé par le phosphate d'ammonium.

La magnésie est également nécessaire, puis vient le soufre; celui-ci peut être fourni à l'état de sulfate de magnésium.

Ces deux éléments ne sont pas immédiatement indispensables;

le besoin ne s'en fait sentir qu'après un certain temps, car il n'en faut que très peu. Pour le soufre, des traces suffisent; les sucres les plus purs en renferment toujours de $\frac{1/2 \text{ à } 1}{10.000}$, quantité suffisante pour les besoins de la levure.

Comme milieu de culture minéral on peut citer les suivants :

Liquide primitif de Pasteur. — Eau distillée, 100 gr.; sucre candi pur, 10 gr.; cendres de 15 gr. levure ou 1 gr.; tartrate d'ammoniaque 0 gr. 1 (ou carbonate d'ammoniaque, 1 gr.).

Liquide de Cohn. — Eau distillée, 200 gr.; tartrate d'ammonium, 2 gr.; phosphate de potassium (KH^2PO^4), 2 gr.; sulfate de magnésium, 1 gr.; phosphate bibasique de calcium, 0 gr. 1.

Liquide de Laurent. — Sulfate d'ammonium, 1 gr. 71; phosphate d'ammonium, 0 gr. 75; sulfate de magnésium, 0 gr. 1 par litr.; le tout additionné de l'élément minéral à étudier.

Liquide de Nägeli. — Eau 100, gr.; sucre, 15 gr.; azotate d'ammonium, 1 gr.; phosphate acide de potassium, 0 gr. 5; phosphate tricalcique ($\text{Ca}^3\text{P}^2\text{O}^8$), 0 gr. 05; sulfate de magnésium, 0 gr. 25.

A. Mayer remplace le nitrate d'ammonium par le tartrate, tandis que Zopf le remplace par la peptone.

Liquide Mayer. — Sucre, 15 gr.; phosphate de potassium 5 gr.; sulfate de magnésium, 5 gr.; phosphate de calcium 0 gr. 5; nitrate d'ammonium, 0 gr. 75 par litre; plus traces de bouillon Liebig.

Hayduck s'est servi de la solution suivante contenant de l'azote organique :

Eau, 1000 gr.; saccharose, 100 gr.; asparagine, 2 gr. 5; plus 50 cc. d'une solution minérale contenant par litre d'eau 50 gr. de phosphate monocalcique et 17 gr. de sulfate de magnésium.

Influence des agents physiques et chimiques sur la fermentation alcoolique

Étudions maintenant l'influence des agents physiques et chimiques sur la levure et sur la fermentation.

401. a) *Lumière.* — La lumière ne semble pas jouer un grand rôle dans la fermentation, aussi les affirmations sont-elles contradictoires sur son action. D'après M. Key, cette action est nulle.

Des expériences récentes de Regnard semblent cependant démontrer que la fermentation est plus rapide à la lumière qu'à l'obscurité.

La lumière est très utile dans un atelier de fermentation, parce qu'elle est nuisible aux microorganismes qui flottent dans l'air. D'ailleurs, comme il est plus facile d'entretenir propre une salle bien aérée qu'une qui ne l'est pas, on adopte toujours un local où la lumière arrive abondamment partout.

402. b) *Chaleur*. — La chaleur joue, au contraire, un rôle considérable dans la fermentation; aussi la réglementation des températures constitue-t-elle un des principaux facteurs dans la conduite des fermentations industrielles? Comme l'influence de la chaleur varie d'une espèce de levure à l'autre, il est difficile de dire quelles sont les températures les plus favorables aux levures en général. On peut cependant considérer 25 et 35° C comme les deux limites à partir desquelles la fermentation se ralentit. A 40° C, il est difficile de l'avoir complète: à 50°, les levures perdent généralement leur pouvoir fermentatif; mais c'est seulement à 70° qu'elles sont tuées. Préalablement desséchées avec beaucoup de ménagement, elles peuvent ensuite supporter, durant plusieurs heures, une température de 100° sans être tuées, exactement comme nous l'avons vu pour les diastases.

D'après M. Bourquelot, la réaction du milieu et la nature des sucres peuvent avoir une influence sur la résistance ou la sensibilité des levures à la chaleur. Ainsi la levure meurt à 70° dans un liquide neutre et vers 55° dans un liquide acide comme le vin.

Cette observation concorde avec celle de Pasteur sur la résistance des spores à la chaleur. Pasteur a montré qu'en thèse générale les spores résistent mieux dans les solutions alcalines. Le lait frais, par exemple, doit être chauffé à 110° pour devenir stérile, tandis que le lait aigri le devient déjà à 80-90°. L'urine normale acide peut être stérilisée à 100°: saturée préalablement de carbonate calcique, elle exige une température supérieure.

D'autre part, dans ses recherches sur la fermentation d'un mélange de sucres, Bourquelot a constaté qu'à 40-41° la fermentation du maltose s'arrête, tandis que celles du lévulose et du dextrose se font encore activement.

Les ascospores des levures, comme les spores des bactéries, peuvent supporter, même humides, des températures plus élevées;

il faut dans certains cas des températures de 120 et même 130° pour les tuer toutes complètement.

Les levures peuvent supporter des froids excessifs, allant jusqu'à 130° au-dessous de 0, sans perdre leur vitalité. La levure ne paraît pas altérée, quand on l'observe; on remarque seulement quelques modifications dans ses fonctions physiologiques. La fermentation ne s'arrête pas encore complètement aux environs de 0°. Quand la levure a été congelée, il faut simplement prendre la précaution de la réchauffer très lentement pour ne pas lui faire perdre ses propriétés.

402. c) *Eau*. — Une certaine quantité d'eau est nécessaire à la végétation de la levure; les liquides trop concentrés n'entrent pas en fermentation. Si dans un moût en fermentation on ajoute une très grande quantité de sucre, la fermentation se ralentit jusqu'à s'arrêter presque complètement.

D'après Jodlbauer, on obtient la fermentation la plus rapide, quand on ajoute à des solutions sucrées, d'une richesse de 6 à 8 0/0, une quantité de levure (à 75 0/0 d'eau environ) égale à la quantité de sucre à décomposer. Dans des solutions plus concentrées ou plus diluées, la fermentation est plus lente.

A 30° Balling, la fermentation n'est plus complète, mais une solution à 0,1° Balling fermente encore complètement. Hayduck a trouvé que, dans une solution à 70° Balling, il fermentait encore 6 gr. de sucre sur 280 gr. Enfin, dans une solution à 87° B., la levure meurt, l'eau de ses cellules étant absorbée par le sucre. Si l'on augmente progressivement la concentration jusqu'à cette limite, la fermentation cesse, mais la levure ne meurt pas, et elle reprend son action quand on étend la liqueur. On sait que l'on a conseillé pour conserver la levure de la saupoudrer de sucre qui fond en absorbant l'eau de la levure et en donnant un sirop épais dans lequel, quand l'opération a été faite avec soin, elle se maintient quelque temps sans altération.

M. A. Boidin a réussi à préparer industriellement des pralines de levure d'une conservation presque indéfinie, en absorbant l'eau de la levure par de la fécule déshydratée.

La concentration des solutions sucrées a une autre importance en ce que l'alcool produit, quand il a atteint dans le liquide une certaine proportion, entrave la reproduction de la levure et son pouvoir fermentatif.

Hayduck, en opérant avec de la solution sucrée additionnée d'asparagine et de matières minérales dont nous vous avons donné

la composition plus haut, trouva que la reproduction de la levure cessait à 10 % d'alcool et que la fermentation s'arrêtait à 15 %.

Les observations de Hayduck sur le développement de la levure dans les moûts de distillerie le conduisirent à cette conclusion, que la reproduction cessait presque complètement quand il s'était formé 5 % d'alcool, quoiqu'il y eût encore une quantité suffisante de matières nutritives azotées en présence dans la solution.

D'après J. Brown, une teneur en sucre de plus de 5 % n'exerce aucune influence sur la multiplication de la levure; avec une teneur de moins de 5 %, la multiplication n'est pas en rapport avec la quantité de sucre, mais elle est plus élevée.

404. d) Air. — Quand on cultive la levure en grande surface, dans de larges cuvettes plates, le liquide étant amplement exposé au contact de l'air, on reconnaît que la fermentation du sucre est très faible; l'acide carbonique qui se dégage est produit en majeure partie par les combustions résultant de l'absorption de l'oxygène de l'air. Les levures aérobies, telles que la mycolevure de Duclaux, le *S. mycoderma*, etc., ne donnent même pas traces d'alcool dans ces conditions, car s'il s'en produisait elles l'attaqueraient au fur et à mesure en le transformant en acide acétique ou en le brûlant directement en eau et en acide carbonique. La levure vit alors à la manière des végétaux supérieurs avec cette différence qu'elle puise son aliment carboné, le sucre, dans le liquide qui l'environne, tandis que les plantes le prennent dans leurs sucs cellulaires.

En opérant ainsi, on trouve que 100 gr. de sucre absorbés produisent 25 gr. de levure sèche. Comme la levure séparée, par pression, du liquide où elle a pris naissance, renferme en moyenne 75 % d'eau, 100 gr. de sucre donnent donc 100 gr. de levure pressée ordinaire. Le rapport des poids de levure sèche formée et de sucre disparu est donc ici $\frac{1}{s} = 1/4$.

Si on diminue l'accès de l'air, par exemple en cultivant la levure dans un ballon en verre à moitié rempli de liquide, il se produit une plus forte proportion d'alcool, tandis que le rapport $\frac{1}{s}$ diminue et devient par exemple $\frac{1}{s} = \frac{1}{80}$.

Si l'on supprime l'air complètement, par exemple en mettant en levure une solution sucrée débarrassée d'air par l'ébullition et contenue dans un ballon qu'elle emplit complètement, on arrive à la plus grande production d'alcool qu'un certain poids de sucre peut

fournir ; l'acide carbonique provient uniquement du dédoublement, de la scission du sucre, car aucune combustion directe ne peut se produire ; le rapport $\frac{1}{s}$ des poids de levure formée et de sucre détruit est minimum $\frac{1}{s} = \frac{1}{89}$.

Des faits que nous venons d'exposer, on peut conclure que la puissance fermentative de la levure varie considérablement entre deux limites fixées par la plus grande et la plus petite participation possible de l'oxygène libre aux actes de nutrition de la plante. Fournit-on à celle-ci une quantité d'oxygène libre aussi grande que l'exigent sa vie, sa nutrition, les combustions respiratoires ; en d'autres termes, la fait-on vivre à la manière de toutes les moisissures proprement dites, elle cesse d'être ferment... Au contraire, vient-on à supprimer pour la levure toute influence de l'air, la fait-on se développer dans un milieu sucré privé de gaz oxygène libre, elle s'y multiplie encore comme si l'air était présent, quoique moins activement, et c'est alors que son caractère est le plus exalté. Enfin, si le gaz oxygène libre intervient en quantités variables, on peut faire passer la puissance fermentative de la levure par tous les degrés compris entre les deux limites extrêmes que nous venons d'indiquer. On ne saurait mieux établir que la fermentation est dans un rapport direct avec la vie, quand elle s'accomplit sans gaz oxygène libre ou avec des quantités de ce gaz insuffisantes pour tous les actes de la nutrition et de l'assimilation.

Des moisissures vulgaires prennent le caractère ferment quand on les fait vivre sans air, par exemple en les submergeant ; les tissus végétaux maintenus dans une atmosphère privée d'oxygène fournissent de l'alcool et de l'acide carbonique. En un mot, les levures, et nous pouvons ajouter les ferments organisés proprement dits, n'ont qu'à un degré plus élevé un caractère propre à toutes les cellules vivantes, à savoir d'être à la fois aérobies ou anaérobies, suivant les conditions où on les place.

Les ferments organisés s'accommodent plus que tous les autres végétaux de la vie sans air ; mais cela ne veut pas dire que l'oxygène ne soit pas utile à leur *développement*. La levure respire comme tous les végétaux ; si on la met en suspension dans l'eau, elle en absorbe l'oxygène qu'elle remplace par de l'acide carbonique. Quand on fait passer de l'air dans un moût sucré additionné de levure, celle-ci se multiplie beaucoup plus rapidement que dans un liquide au repos.

Quand on met un moût sucré en levure, il se produit d'abord,

aux dépens de l'air resté dans le flacon, ou dissous dans le liquide, une prolifération active qui va ensuite en se ralentissant peu à peu. D'abord le pouvoir ferment est faible ; mais au fur et à mesure que l'oxygène disparaît du liquide, la prolifération diminue et la véritable fermentation commence.

D'après Pasteur, si on ensemence un liquide privé d'air, d'une levure déjà vieille, la fermentation peut devenir interminable et finit même par s'arrêter. Fait-on alors arriver une petite bulle d'air dans le liquide, la fermentation recommence pour cesser quelques jours après et reprendre à la suite de la même opération.

On conçoit, par conséquent, qu'une aération convenable des mouës en fermentation, qui détermine une multiplication plus abondante de cellules, rend indirectement cette fermentation plus active.

Faut-il admettre, dit Pasteur, que la levure si avide d'oxygène qu'elle l'enlève à l'air avec une grande activité, n'en a plus besoin quand on l'en prive, alors que dans le liquide fermentescible il y a une matière, le sucre, qui peut le lui présenter à profusion, pas à l'état libre, il est vrai, mais à l'état combiné ? Quand on lui refuse ce gaz à l'état de liberté, elle en prend à la matière fermentescible ; elle n'est un agent de la décomposition du sucre qu'en vertu de son avidité pour l'oxygène, et Pasteur définit la fermentation « la conséquence de la vie sans air. »

Nous avons vu que d'après Pasteur l'air rend indirectement la fermentation plus active, en déterminant une multiplication plus abondante de cellules, tandis que celles-ci n'acquièrent pas un pouvoir *fermentatif* plus grand ; cette opinion a été confirmée par les expériences de Perderson et de Hansen, puis par celles de A. Mayer. Nägeli, au contraire, se basant sur ses expériences, prétend que l'oxygénation augmente dans tous les cas la force fermentative de la levure et que la théorie de Pasteur est par suite inadmissible.

La théorie de Pasteur, si souvent attaquée, a été plus que jamais mise en doute par la découverte récente de Buchner.

Il faut, dit Buchner, abandonner la théorie de Pasteur sur les besoins de la levure en oxygène, théorie d'après laquelle la levure, en l'absence de l'air, peut prendre l'oxygène du sucre et le décomposer. La décomposition du sucre n'a plus rien à voir avec les besoins de la levure en oxygène. Par contre, on peut fort bien admettre une relation entre les phénomènes de fermentation

et le besoin d'énergie de la cellule de levure : en présence d'oxygène, la source d'énergie est la respiration ; en l'absence d'oxygène, c'est la décomposition du sucre.

D'après Fernbach, la découverte de Buchner ne prouve pas qu'il faille rejeter désormais la théorie de Pasteur sur la fermentation et le rôle de l'oxygène. Il n'y a aucune incompatibilité entre ces théories et les faits découverts par Buchner, et il n'y en aurait même pas si, dans de nouvelles expériences, Buchner démontrait que la production de la zymase est absolument indépendante du mode d'existence de la levure, en présence et à l'abri de l'air. Les faits expérimentaux observés par Pasteur, par Cochin et par d'autres, restent toujours exacts et démontrent, d'une manière certaine, la nécessité de l'oxygène pour le développement de la levure, développement qui est lui-même indispensable à la production de la zymase.

405. e) *Action des antiseptiques.* — On appelle antiseptiques des substances qui, à une certaine dose, arrêtent les fermentations. Dans ces derniers temps, des recherches intéressantes ont été faites par *Biernacki*. Celui-ci a essayé l'influence de petites doses de six composés minéraux et huit composés organiques sur la levure, notamment le sublimé, le sulfate cuivrique, le permanganate de potassium, le brome, les acides sulfurique et borique, l'hydrate de chloral, le sulfate de quinine, le thymol, l'acide benzoïque, l'acide salicylique, le phénol, la résorcine et le pyrogallol.

Pour chaque essai il employait 0g.2 de levure haute bien fraîche, 5 cc. d'une solution de dextrose et 5 cc. de la solution antiseptique. L'opération se faisait à la température d'appartement.

Ces essais conduisirent aux conclusions suivantes :

1^o Tous les antiseptiques ont la propriété, dans certaines conditions et à certaines doses, d'activer et d'accélérer la fermentation.

2^o Plus un antiseptique entrave la fermentation à doses assez élevées, plus il est, à même, sous une dilution convenable, d'activer la fermentation.

3^o La dose à laquelle l'antiseptique favorise la fermentation dépend de la quantité de levure existant dans le liquide.

4^o Les substances organiques peuvent activer la fermentation davantage que les matières minérales. Les limites qui entravent la fermentation sont plus étendues pour ces dernières, aussi sont-elles plus énergiques comme antiferments.

5° Il semble qu'une substance organique soit un antiferment d'autant plus énergique qu'elle est plus riche en carbone.

6° Par contre, dans le groupe des dérivés du benzol, une substance organique est d'autant plus faible, qu'elle contient plus d'hydroxyle (OH).

7° Si on emploie plusieurs antiseptiques en même temps, leur puissance est augmentée.

8° En combinant les substances organiques avec les substances minérales, on a un mélange plus énergique que les différentes substances organiques.

La table suivante indique les plus faibles concentrations qui commencent à entraver la fermentation et les plus fortes concentrations qui l'accélèrent (d'après Biernacki).

NOM DE LA SUBSTANCE ANTISEPTIQUE	CONCENTRATION	CONCENTRATION
	MINIMA QUI ENTRAVE LA FERMENTATION	MAXIMA QUI ACTIVE LA FERMENTATION
1. Chlorure mercurique sublimé	1 : 20.000	1 : 300.000
2. Permanganate de potassium	1 : 10.000	1 : 100.000
3. Sulfate de cuivre	1 : 4.000	1 : 600.000
4. Brome	1 : 4.000	1 : 50.000
5. Thymol	1 : 3.000	1 : 20.000
6. Acide benzoïque	1 : 2.000	1 : 10.000
7. — salicylique	1 : 1.000	1 : 6.000
8. Quinine	1 : 400	1 : 80.000
9. Acide phénique	1 : 200	1 : 1.000
10. — sulfurique	1 : 100	1 : 10.000
11. Résorcine	1 : 100	1 : 2.000
12. Pyrogallol	1 : 50	1 : 4.000
13. Acide borique	1 : 25	1 : 8.000
14. — chlorhydrique	1 : 25	1 : 1.000

Relativement à ces chiffres, il convient de rappeler qu'ils ne sont exacts que dans les conditions expérimentales que nous avons citées, tandis que les remarques ci-dessus sont générales.

Schulz remarqua également qu'un grand nombre d'antiseptiques violents favorisaient la fermentation quand on les employait à très faible dose (1888).

Parmi les antiseptiques, les plus intéressants pour le distillateur sont les acides. Leur action a été étudiée par Maercker et ses élèves et par Hayduck. Maercker trouva que les acides

gras volatils peuvent entraver énergiquement la fermentation. On sait que ces acides se rencontrent parfois dans les mélasses et dans les moûts de matières amylacées quand l'acidification est impure, par suite, par exemple, d'une trop faible température d'acidification qui favorise le développement des ferments butyriques et acétiques.

Hayduck dirigea ses recherches sur l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique, l'acide phosphorique, l'acide lactique et l'acide succinique.

Les résultats de ses recherches conduisirent aux conclusions suivantes :

Les acides ci-dessus et les acides gras expérimentés par Maercker, Neale et Werenskiold nuisent à l'activité de la levure, quand leur proportion dépasse une certaine dose. Les doses qui entravent la fermentation varient beaucoup d'un acide à l'autre.

Les plus nuisibles sont les acides butyrique et caproïque, puis viennent immédiatement les acides propionique et formique et enfin l'acide acétique, beaucoup moins nuisible.

Parmi les acides minéraux employés en distillerie, les acides sulfurique et chlorhydrique peuvent être rangés, quant à leur pouvoir anti-fermentatif, à côté de l'acide formique, tandis que l'acide phosphorique agit à peu près comme l'acide lactique, à concentration égale.

Remarque. — Ce qui est au plus haut point digne de remarque, c'est que l'acide lactique doit être employé à dose beaucoup plus forte que les autres acides pour produire le même effet.

406. f) *Action des acides sur les levures.* — L'action nuisible des acides s'exerce de deux façons : 1° sur la force fermentative ; 2° sur la force prolifique de la levure. Ces deux actions sont inégales ; généralement la force prolifique est influencée par une plus faible dose d'acide que la force fermentative.

D'après Bokorny, l'acide salicylique, jusqu'à concentration de $\frac{1}{10.000}$, agit plutôt favorablement sur la fermentation ; à dose plus forte il devient toxique pour la levure.

De très faibles doses d'acides peuvent favoriser la force fermentative et la force prolifique. Ce fait n'a d'abord été établi que pour les acides lactiques et sulfurique. Nous trouvons donc ici une attitude, qui, d'après Biernachi, semble caractéristique pour tous les antiseptiques.

Hayduck employa pour ses essais 1.000 cc. d'une solution de saccharose à 10 o/o, dans laquelle il délayait 10 gr. de levure pressée. En maintenant ce mélange à 30° C il obtient les résultats suivants :

La fermentation est favorisée par . . .	Acide sulfurique	0,2 p. 1000.
	— lactique	2 à 10 —
La force prolifique, qui est la première attaquée, est contrariée par . . .	Acide sulfurique	2 p. 1000.
	— chlorhydrique	1 à 5 —
	— lactique	25 — env.
La fermentation est entravée par . . .	Acide sulfurique	7 p. 1000.
	— chlorhydrique	5 —
	— phosphorique	13 — (fermentation encore apparente).
	— lactique	46 p. 1000 (fermentation très lente)

Le Dr Will a également fait des expériences sur la diminution de l'énergie fermentative sous l'action des antiseptiques. Le tableau suivant résume ses résultats :

La force prolifique de la levure est favorisée par	Acide sulfurique	0,2 p. 1000.
	— lactique	1 à 5 p. 100
La force prolifique est diminuée par	Acide sulfurique	0,7 p. 1000.
	— lactique	15 —
La force prolifique est annulée par	Acide sulfurique	2 p. 1000.
	— lactique	40 —

Nous avons dit que, d'après les expériences de Maercker, les acides gras volatils sont très nuisibles. Ce chimiste a en effet trouvé les résultats suivants :

Acide butyrique :

0,5 pour 1.000 entravent la fermentation.

1,0 — arrêtent complètement la fermentation.

Acide acétique :

2 p. 1.000 diminuent la force prolifique.

6 — anéantissent complètement la force prolifique.

5 — entravent la fermentation.

10 — arrêtent complètement la fermentation.

Certaines levures fermentent encore très activement avec 1 p. 100 d'acide acétique.

L'acide butyrique, qui est un anti-ferment très énergique, peut également, comme les antiseptiques, favoriser la fermentation quand il est employé à très faible dose, comme il résulte des expériences de Juslin.

Voici les résultats obtenus par Juslin :

Acide butyrique	0,0	6,01	} Alcool produit.
p. 1000, dans	0,1	6,21	
le liquide en	0,5	6,42	
fermentation.	1,0	0,56	
	5,0	0,00	

Prenons tout de suite un exemple. Supposons que l'on ait une mélasse renfermant 0,2 0/00 d'acide butyrique et que l'on prépare un moût renfermant 25 k. de mélasse par hecto, soit 250 gr. par litre. Ce moût contiendra 0,5 par 1.000 d'acide butyrique et pourra donc fermenter plus vite que s'il n'en renfermait pas. Nous insistons sur ce point en parlant des mélasses.

Parmi les acides que nous venons d'étudier, les deux plus intéressants sont assurément l'acide lactique et l'acide sulfurique. Ces deux acides sont employés couramment pour l'acidification des moûts de distillerie; le premier est développé artificiellement dans les moûts de grains et de pommes de terre, le second est ajouté aux moûts de betteraves et de mélasses. Dans ce dernier cas, l'acide sulfurique décompose les sels à acides organiques se trouvant dans le moût et met ces acides en liberté, et comme ces acides ressemblent beaucoup à l'acide lactique par leur action sur la levure, il s'en suit que dans un cas comme dans l'autre, on provoque le développement d'une certaine acidité organique.

L'emploi des acides dans la fermentation est basé sur cette remarque qu'ils sont beaucoup plus nuisibles aux bactéries et aux bacilles qu'aux levures. L'acide lactique, par exemple, est généralement employé à la dose de 9 gr. par litre dans les levains; or, nous avons vu qu'une proportion d'acide lactique de 2 à 10 gr. favorise la fermentation et qu'il faut arriver à 15 gr. pour diminuer la force prolifique de la levure. Quant aux bactéries, 5 p. 1000 d'acide lactique diminuent déjà l'activité du ferment (*bacterium*

lactis) producteur de cet acide. Avec l'acide sulfurique employé dans la fabrication de la levure pressée, où, contrairement à ce qui a lieu pour le travail des betteraves et des mélasses, il reste à l'état de liberté dans le moût, on sait qu'à une dose de 4 p. 1000 il ne se produit presque plus trace de ferment lactique tandis qu'il en faut 2 p. 1000 pour annuler la force prolifique de la levure. D'après M. Laurent, la multiplication de la levure n'est nullement gênée par 1 p. 1000 d'acide glycolique, lactique, succinique, malique, tartrique; d'après les expériences de Kayser, ces doses peuvent même être dépassées. Si la dose des acides n'est pas trop élevée, on constate souvent une exaltation des facultés de la levure (Kayser).

D'après une étude récente de E. Kayser et L. Gentil (1), certaines levures sont très peu aptes à supporter des milieux acides et donnent lieu, dans ces milieux, à des fermentations incomplètes, de sorte qu'une sélection des levures s'impose pour chaque mode de travail.

Pour éviter les fermentations secondaires et régulariser le travail, il suffit le plus souvent d'une acidité faible, qui contribue d'ailleurs à augmenter l'activité de la levure. Avec une levure convenablement choisie, l'acidité qui semble la meilleure pour les moûts de grains est comprise entre 0,9 et 1,2 gr. p. 100 en acide lactique (2), et pour la fermentation des jus sucrés (betteraves, mélasses, etc.), entre 1 gr. 5 et 2 gr. d'acide sulfurique par litre.

La présence de l'acide lactique augmente le rendement, parce qu'elle facilite l'attaque de la dextrine. Mais il vaut mieux laisser l'acidité en acide lactique s'augmenter peu à peu, par suite du développement du ferment lactique, que d'ajouter dès l'origine de l'acide lactique tout formé. La levure s'habitue aussi peu à peu à une acidité qui lui eût été nuisible au début.

407. Un acide qui a pris une grande importance en distillerie dans ces derniers temps est l'acide fluorhydrique employé, ainsi que ses sels, comme antiseptique. L'acide fluorhydrique rend de grands services, en ce sens que de très petites quantités produisent de l'effet. D'après M. Effront, qui, se basant sur des études approfondies, eut l'idée de recommander l'emploi de l'acide fluorhydrique en pratique, 5 à 15 milligr. d'acide fluorydrique ou d'un

(1) Bulletin du Ministère de l'Agriculture, 1897.

(2) Soit 9 et 12 gr. d'acide lactique (5 gr. et 5 gr. 5 en SO_4H_2) par litre.

de ses sels par 100 cc. de moût, suffisent pour empêcher le développement des schizomycètes sans influencer la levure.

Poursuivant ses recherches sur l'action de l'acide fluorhydrique et des fluorures, Effront arriva à des conclusions analogues quant au fond à celles de Biernacki, de Maercker et de Hayduck, c'est-à-dire que de faibles doses de ces réactifs augmentaient la force fermentative, tandis que des doses plus fortes entravaient puis finalement annulaient les deux fonctions.

Avec des moûts clairs de malt à 20° Balling, Effront a trouvé les résultats suivants pour le fluorure d'ammonium.

Jusqu'à la dose de 6 mg. de fluorure par 100 cc., la prolifération de la levure est augmentée.

La force fermentative atteint son maximum avec 30 mg., tandis que, à la même dose, l'action sur la multiplication des cellules est nulle.

Avec 50 milligr., le nombre des cellules de levure diminue beaucoup tandis que la force fermentative est encore augmentée.

A la dose de 300 mg., la prolifération de la levure est presque complètement détruite, et la fermentation subit un ralentissement très notable.

Effront fit en outre une remarque importante : c'est qu'une levure affaiblie par son action dans un moût à 20° B, contenant 300 mg. de fluorure d'ammonium par 100 cc., transplantée dans un moût ne contenant pas de fluorure, pouvait de nouveau développer la fermentation. Par ce traitement, les bactéries, au contraire, sont complètement tuées.

Les essais furent faits avec des extraits de malt stérilisés et des levures pures. L'influence des fluorures a été constatée par l'atténuation, par l'alcool formé et par l'augmentation du nombre des cellules.

On a introduit dans un moût frais exempt de fluorure quatre races de levure qui avaient été cultivées dans un moût additionné de 30 milligr. de fluorure d'ammonium. Ces levures, qui semblaient avoir complètement perdu leur activité, dès qu'elles se trouvèrent en contact avec le fluorure, reprirent immédiatement un pouvoir ferment et une puissance d'accroissement tout à fait extraordinaires.

L'accroissement fut surtout remarqué pour le *S. cerevisiaë*.

Effront conclut de ses essais que les levures, après un traitement avec des quantités graduellement plus élevées de fluorure, acquièrent un pouvoir ferment considérable que l'on peut consi-

dérer comme décuplé par rapport à ce qu'il était avant le traitement fluoré. Ce traitement a eu également pour effet d'enrichir les levures de propriétés que certains physiologistes avaient considérées comme des privilèges dont jouissent certaines races, privilèges qui semblaient leur appartenir exclusivement.

Ainsi la levure, incapable primitivement de vivre dans un milieu sucré contenant 300 milligrammes de fluorure d'ammonium (= 160 mg. HF1) par litre, peut être amenée, par une série de cultures, dans des milieux de plus en plus riches en fluorure, à se développer dans ce milieu en apparence mortel et elle acquiert le pouvoir de proliférer abondamment et de faire fermenter relativement plus de sucre pour le même poids. M. Sorel refit les expériences d'Effront et il arriva également à la conclusion que la levure habituée à vivre dans un milieu riche en acide fluorhydrique, donne, dans un milieu plus faiblement fluoré, des cellules d'autant plus actives que le milieu primitif était plus chargé de matière antiseptique.

Poussant plus loin ses expériences, M. Sorel arriva à faire végéter la levure dans un milieu renfermant 1 gr. d'acide fluorhydrique par litre, soit 6 fois plus antiseptique que celui indiqué par M. Effront.

M. Sorel essaya si la résistance acquise par la levure se conserverait et il trouva qu'à ce point de vue l'optimum correspondait à 266 milligr. d'acide fluorhydrique par litre, dose plus forte que celle de M. Effront.

En cultivant les levures de bière dans un milieu contenant des composés de fluor, on aboutit donc finalement à les acclimater à ces antiseptiques et à les amener à un état d'accoutumance tel que leurs cellules peuvent résister à des doses de fluor que ne supporteraient pas les levures non accoutumées; celles-ci perdraient immédiatement leur pouvoir ferment.

L'accoutumance des levures à l'antiseptique produit un grand changement dans la vie physiologique de la levure. On constate qu'elle devient beaucoup moins apte à se reproduire, sa multiplication se ralentit, mais en même temps elle acquiert une exaltation beaucoup plus prononcée dans son pouvoir ferment : l'énergie fermentative est fortement augmentée.

M. Effront a cherché si cette accoutumance aux antiseptiques n'a pas pour conséquence de modifier leur travail chimique; ses essais lui ont démontré que l'accoutumance des levures aux composés fluorés a pour conséquence de modifier notablement le travail

chimique des cellules : il se produit plus d'alcool, et moins d'acide succinique et de glycérine.

	LEVURE ACCOUTUMÉE		LEVURE ORDINAIRE	
	MOÛT CONCENTRÉ	MOÛT DILUÉ	MOÛT CONCENTRÉ	MOÛT DILUÉ
Alcool p. 100	12,7	10,1	12,5	9,3
Glycérine	0,065	0,019	0,75	0,257
Acide succinique	0,011	0,0032	0,132	»

La méthode employée pour arriver à l'accoutumance consiste à cultiver les levures avec des doses croissantes de composés fluorés ; on commence avec 1 à 2 gr. d'acide fluorhydrique par hecto de moût, et on augmente successivement ces doses, au fur et à mesure que les levures s'y sont accoutumées. Pour arriver à cette accoutumance, Effront conseille la méthode suivante : on procède à une première fermentation, en présence de 2 gr. par hecto. Après la transformation du quart du sucre contenu dans le liquide, on ajoute de nouveau au moût 1 gr. d'acide par hecto, et on laisse la fermentation se continuer, jusqu'au moment où la moitié du sucre a disparu. A ce moment, on prend un hectol. de moût en fermentation, et on l'introduit dans 9 hectol. de moût frais additionné de 40 gr. d'acide fluorhydrique par hecto.

Après disparition du quart de la proportion du sucre contenu dans le nouveau moût, on continue d'opérer comme ci-dessus. Le troisième passage de la levure, 7 gr. par hecto, se fait avec 7 gr. d'acide au début.

Après une série d'opérations analogues, et en ajoutant la dose supplémentaire de fluor seulement au moment où l'on constate une faible sporulation (moment qui correspond à la disparition du quart du sucre du moût), les levures finissent par fermenter en présence de 30 gr. d'acide par hecto.

Elles se sont accoutumées pour ainsi dire à cette dose antiseptique et elles acquièrent vis-à-vis d'elle une certaine immunité qu'elles ne possédaient pas antérieurement.

Examinant les causes de cette différence d'action, M. Effront pense qu'elles résident évidemment dans l'état de vigueur spéciale acquise par les levures accoutumées.

Brefeld a déjà fait connaître que la glycérine et l'acide succi-

nique se forment principalement à la fin des fermentations, lorsque la levure n'a presque plus de vitalité ; de même, Pasteur a reconnu que la formation de ces produits secondaires est en rapport avec l'état constitutionnel de la levure. Les résultats des travaux d'Effront sont donc parfaitement d'accord avec ceux des savants qui se sont occupés de cette question avant lui.

Il nous reste encore à étudier l'action des produits de la fermentation sur la levure et sur la fermentation elle-même.

408. *Influence de l'alcool sur la fermentation et le développement de la levure.* — D'après les expériences de Hayduck, avec une teneur en alcool du moût de 5 %, la levure ne se reproduit plus que très peu. Suivant Brefeld, la prolifération de la levure s'arrête complètement quand le moût renferme 12 % d'alcool en poids (= 14,8 en vol.) ; la fermentation s'arrête quand la richesse en alcool atteint 17,3 % en volume. D'après Reynard, la fermentation d'une solution de 2 gr. de sucre de raisin dans 250 gr. d'eau était empêchée par 2 % d'alcool méthylique, 15 % d'alcool éthylique, 10 % d'alcool propylique, 2,5 % d'alcool butylique, 1 % d'alcool amylique, 0,2 % d'alcool caproïque et 0,1 % d'alcool caprylique.

409. *Influence de l'acide carbonique.* — Boussingault ayant enfermé du moût de raisin dans un vase clos dans lequel il faisait un vide relatif au-dessus du moût au moyen d'une pompe pneumatique, dans le but d'enlever l'acide carbonique, remarqua que la fermentation était extrêmement tumultueuse. Lintner, en faisant des expériences pour débiter la bière par l'acide carbonique liquide, observa que ce corps enrayait la fermentation. Foth, en faisant des expériences directes sur du moût de bière, trouva que l'accumulation de l'acide carbonique est d'abord très nuisible ; déjà l'accumulation de gaz produite par le repos du liquide se fait sentir. Ainsi, dans des conditions ordinaires, on peut, par l'agitation, faire monter le nombre des cellules de 90 à 121. La prolifération de la levure est encore beaucoup plus entravée quand la fermentation a lieu sous l'acide carbonique en pression.

En 1886, Delbruck remarqua l'influence favorable des matières en suspension dans les moûts sur la rapidité de la fermentation. En Allemagne, où l'impôt est basé sur le volume des moûts, on avait eu l'idée de les filtrer, suivant le procédé de Trobach, pour les débarrasser complètement des matières en suspension et diminuer ainsi le volume qu'ils occupent dans la cuve, mais on fut

obligé d'y renoncer, parce que les moûts concentrés et clairs obtenus fermentaient très difficilement. Delbruck, attribuant ce fait à l'absence de matières solides auxquelles la levure s'attache et se trouve ainsi entraînée dans un mouvement qui la met en contact avec toutes les parties du moût, essaya de remplacer les matières solides enlevées, par des produits artificiels, tels que des copeaux et de la sciure de bois. L'action mécanique de ces corps indifférents activait, en effet, la fermentation.

Prandtl était arrivé à la conclusion que l'acide carbonique était incapable d'enrayer la fermentation ; il attribuait la cause du ralentissement de la fermentation sous pression au fait que les bulles d'acide carbonique ne s'élèvent pas avec la même force que dans le moût fermentant dans des conditions normales, de sorte que la levure ne reçoit pas la même impulsion et se trouve moins fréquemment en contact avec de nouvelles parties du liquide fermentescible. Foth, en reprenant les essais faits d'après la méthode de Prandtl, démontra que l'effet du mouvement artificiel et des copeaux, etc., consistait en première ligne en ce qu'on empêche la sursaturation de gaz carbonique, dont une grande quantité était dégagée du moût ; le mouvement artificiel ne suffit pas à annihiler l'influence de ce gaz.

Les matières solides en suspension dans le moût sont donc très utiles. On a renoncé en Allemagne à faire des moûts clairs pour la fabrication de l'alcool, et quand, dans le but d'augmenter la capacité utile des cuves, on fait passer les moûts dans des appareils tamiseurs de Müller, Bohm, etc., on a bien soin de n'enlever que les $\frac{2}{3}$ des matières solides. En France, c'est surtout dans les distilleries de mélasses qu'on a reconnu l'utilité des matières solides dans le moût. Les levains de maïs préparés avec du moût clair donnaient avec les mélasses une fermentation bien moins active que les levains faits avec les moûts troubles. Aussi le procédé Billet, qui opérait la filtration aux filtres-presses, a-t-il été bientôt abandonné, exactement comme on a abandonné, en Allemagne, le procédé Trobach qui avait le même objet (préparation d'un moût clair par passage aux filtres-presses).

Ainsi donc l'action antiseptique de l'acide carbonique est faible, et si l'accumulation de ce gaz ralentit la fermentation, cela tient plutôt aux causes que nous venons d'indiquer.

410. *Influence de la composition de la levure sur sa force fermentative et sur sa force prolifique.* — Hayduck a fait sur ce sujet des recherches qui l'ont conduit à des conclusions présentant un grand intérêt pour la pratique :

a) La richesse en azote de la levure est variable dans de très grandes limites, 3,90 à 10,30 % de sa teneur en matière sèche.

b) Dans des solutions étendues de matières azotées, il se produit une levure ayant une richesse en azote minima, mais constante, tandis que la quantité de levure produite est proportionnelle aux doses de matières azotées en présence.

c) Quand les solutions renferment plus de 0 gr. 2 d'azote par litre, la prolifération de la levure n'augmente plus, mais la levure produite est plus riche en azote, et cela proportionnellement à la richesse en azote des solutions ; on possède donc dans l'augmentation de la teneur en azote des milieux liquides nourriciers, un moyen d'enrichir la levure en azote, à la condition, naturellement, qu'il y ait suffisamment de sucre en présence.

d) Au-dessus de 0 gr. 5 d'azote par litre, à l'état d'asparagine, il n'y a plus ni augmentation du poids de levure fourni ni enrichissement en azote de celle-ci.

e) La force fermentative de la levure est directement proportionnelle à sa teneur en azote.

f) Dans des solutions pauvres en azote, une levure fort azotée se multiplie davantage qu'une levure peu azotée, évidemment parce que la première peut céder plus d'azote aux cellules-filles que la seconde.

g) Par contre, dans une solution riche en azote, une levure faiblement azotée se reproduit plus vigoureusement qu'une levure fortement azotée.

h) Une basse température favorise la production d'une levure riche en azote.

i) L'aération qui favorise la prolifération de la levure, diminue la teneur en azote de la levure produite.

Les résultats des recherches de Hayduck ont été confirmés par celles de J. Brown. D'après ce dernier, l'augmentation de mout azoté dans le liquide nutritif ne produit pas une augmentation proportionnelle de la levure ; à partir d'une certaine concentration du liquide nourricier, il n'y a plus augmentation

proportionnelle de la levure ; un excès de ces substances azotées est même nuisible à la multiplication de la levure. Nous avons vu que, d'après Hayduck, une levure fort riche en azote a une grande force fermentative, mais une faible puissance prolifique.

Une solution nutritive contenant du sucre et des matières azotées telle que le moût de malt, n'exerce plus aucun effet sur la prolifération de la levure, dès que sa concentration dépasse une certaine limite.

Il résulte des expériences de Hayduck et de J. Brown que la production d'une levure ayant une très grande richesse en azote présente un danger, en ce que cette levure peut avoir une trop faible puissance prolifique dans une solution nutritive fort azotée. Les considérations de Hayduck, dit Maercker, présentent un grand intérêt pour la pratique et la théorie de la préparation des levains ; quoique l'on doive regarder la production de levures pures sélectionnées en vue d'une grande puissance fermentative comme la base fondamentale de la préparation des levains, elles ne perdent pour cela rien de leur valeur, car il ne s'agit pas seulement de posséder une bonne race convenable de levure, il faut encore prendre ses dispositions pour qu'elle puisse faire valoir ses qualités, et pour cela il faut qu'elle trouve dans le moût levain une alimentation saine et rationnelle.

Il résulte des recherches de Hayduck que, pour le but poursuivi dans la fabrication de l'alcool, on doit faire ses levains dans le but d'avoir toujours une levure riche en azote, car la force fermentative, chose essentielle en distillerie, ne peut s'obtenir qu'avec une levure riche en azote. D'un autre côté, la levure ne doit pas non plus être extrêmement azotée, pour ne pas nuire à sa puissance prolifique. Il ne suffit pas d'ensemencer les levains et les moûts d'un petit nombre de cellules d'une très grande force fermentative, il faut encore prendre ses dispositions pour que la levureensemencée se reproduise très rapidement, si non, elle ne sera pas à même d'accomplir sa tâche dans le moût principal. Il faut dans celui-ci avoir une race de levure à grande force fermentative et un grand nombre de cellules de cette levure.

Les essais de Hayduck nous apprennent aussi comment il faut opérer pour appauvrir en azote une levure qui a perdu de son pouvoir prolifique parce qu'elle est devenue trop azotée, ou réciproquement.

Dans les brasseries, la levure constamment employée devient impropre à produire une bonne fermentation, non parce qu'elle perd de son pouvoir ferment, mais parce que la bière se trouble et qu'il se produit des fermentations secondaires; le brasseur est obligé de changer fréquemment de levure. La cause de ces accidents est la trop grande richesse en Az de la levure qui perd de son pouvoir reproducteur et, par suite, de sa puissance d'assimilation; et comme la bière, pour se conserver, doit être épuisée le plus possible d'azote par la levure, le brasseur doit employer une levure pauvre en azote qui absorbe avidement l'azote du moût. Les essais de Hayduck nous ont donné une solution parfaite du problème en nous montrant comment on peut appauvrir d'azote une levure. Il suffit, pour cela, de la cultiver dans un milieu pauvre en azote dans lequel on insuffle de l'air stérilisé, et d'opérer à une température élevée. Par contre, pour enrichir d'azote une levure, il faut la cultiver dans un moût fort azoté et opérer à basse température.

411. *Influence de la dose de levure ensemencée sur sa reproduction et sa composition.* — Cette question a été étudiée par Pasteur, Delbrück, J. Brown.

Les essais de Delbrück l'ont conduit aux conclusions suivantes:

1^o En ensemençant une très grande quantité de levure dans un liquide, par exemple 50 gr. dans 500 c.c.; elle ne se multiplie pas, mais elle *s'engraisse* et acquiert une teneur en azote élevée.

2^o Si on ensemence une quantité de levure, telle qu'il se produit encore une forte multiplication des cellules, on obtient une levure d'autant plus azotée que l'ensemencement est plus faible. Ainsi en mettant 2 gr. de levure pour 500 c.c. de liquide nutritif, on a une levure notablement plus azotée qu'en ensemencant 12 gr. Mais si on augmente encore la dose, il se produit alors l'engraissement dont nous avons parlé plus haut. On peut donc, d'après Delbrück, *obtenir une levure fortement azotée aussi bien par un très fort que par un très faible ensemencement.*

D'après J. Brown, la quantité de levure ensemencée n'a, jusqu'à un certain point, qu'une influence très faible sur la reproduction; un même volume de moût renferme un même nombre de cellules. Si on introduit dès l'origine dans le liquide un nombre de cellules supérieur à certain chiffre, il n'y a pas multiplication, même si on aère le liquide.

D'après les recherches de Juslin, la présence de l'acide lactique dans le milieu nourricier diminue la richesse en azote de la levure ; dans un liquide fortement acidifié par l'acide lactique, on aura donc une levure moins azotée et une récolte plus abondante, la levure gardant un pouvoir reproducteur plus élevé.

Cette dernière explication ne cadre guère avec la théorie la plus récente du rôle de l'acidification lactique, et d'après lesquelles l'acide lactique augmenterait la force fermentative de la levure en limitant son pouvoir reproducteur.

Levures employées dans l'industrie

412. Jusque dans ces derniers temps on se servait presque exclusivement, dans les distilleries françaises, de levure de bières hautes pour produire la fermentation. Cette levure était employée à l'état liquide, telle qu'elle s'écoule des tonneaux du brasseur, ou à l'état pressée, notamment quand elle venait d'Angleterre. En Allemagne, on se sert depuis fort longtemps de levains provenant d'un moût de malt sec ou de malt vert acidifié par une fermentation lactique spontanée et mis en levure avec de la levure pressée ou une faible quantité (1/10 par ex.) de liquide provenant d'un levain précédent.

La levure de bière liquide, telle qu'on l'emploie encore, présente certains avantages que l'on comprend sans peine : le moût de bière est un liquide stérilisé, c'est-à-dire dont tous les ferments et spores de ferments ont été détruits par une ébullition prolongée ; en outre, ce liquide a été additionné d'un antiseptique assez énergique, le houblon. Ce moût étantensemencé d'une bonne levure-mère, doit constamment donner une récolte en levure de bonne qualité, et c'est bien ainsi que cela se passe. Malheureusement, cette levure est généralement récoltée avec très peu de soins ; elle sort par la bonde des tonneaux et découle sur les douves plus ou moins couvertes de moisissures et de bactéries, se dessèche et se contamine fortement par les microbes, dont l'atmosphère est constamment chargée. En outre, dans les fermentations successives, des levures sauvages répandues dans l'atmosphère s'introduisent dans le moût et, comme elles sont douées d'une puissance prolifique très grande, elles se substituent plus ou moins à la levureensemencée. Mais dans les brasseries très propres, où l'on travaille suivant toutes les prescriptions de la bactériologie moderne, et où l'on fait la fermentation haute dans des cuves et non dans des

tonneaux, la levure que l'on produit est d'une pureté très satisfaisante et peut rendre des services en distillerie. On ne doit donc se servir que d'une levure de bière provenant d'un établissement qui travaille avec tous les soins nécessaires : levure-mère constamment surveillée, cave aérée par un ventilateur aspirant de l'air pur filtré sur coton, etc.

La levure de bière doit être conservée liquide ; dans cet état la résine de houblon contenue dans le liquide contribue beaucoup à sa préservation. La levure de bière pressée est moins recommandable ; elle présente en outre l'inconvénient d'avoir subi plusieurs manipulations et un séjour en masse qui facilitent son échauffement et son altération rapide.

Quant à la *levure pressée* industrielle, elle est évidemment moins pure que celle de bière, car les moûts troubles acidifiés par l'acide lactique dans lesquels on la produit ne sont pas stérilisés et ils renferment toujours beaucoup de bactéries en évolution ; aussi cette levure ne peut-elle guère se conserver et servir à la mise en fermentation dans les distilleries de betteraves ou de mélasses.

413. *Purification des levures.* — Pasteur, à qui l'on doit la découverte de la nature et des propriétés de la levure, démontra le premier que ce produit était toujours contaminé par d'autres micro-organismes et il indiqua des procédés pour le purifier.

414. *Culture dans des milieux acides.* — L'un de ces procédés consistait à faire végéter la levure dans une solution de sucre de canne à laquelle on a ajouté une petite quantité d'acide tartrique. Les bactéries étant beaucoup plus sensibles que la levure à l'action des acides, la levure devient plus pure. Pasteur s'est aussi servi de l'eau sucrée phéniquée.

Ces procédés permettaient bien de débarrasser la levure de la majeure partie des bactéries qui l'accompagnaient, mais non pas des levures sauvages toujours très répandues dans l'atmosphère et qui, eu égard à leur puissance prolifique considérable, peuvent arriver à dominer dans le mélange. M. Effront a proposé dans ces dernières années un procédé analogue basé sur l'emploi de l'acide fluorhydrique. Ce procédé a été vivement critiqué et a donné lieu à une polémique entre l'inventeur et M. Jorgensen, le directeur du laboratoire de Carlsbeig.

Des expériences méthodiques, faites dans ce laboratoire, ont démontré que par le traitement d'après la formule d'Effront, le développement des levures sauvages et des mycodermes peut être plus considérable que celui des levures de culture. On peut voir

en même temps qu'une espèce aussi dangereuse que la bactérie acétique résiste dans beaucoup de cas à l'action du traitement elle se multiplie même souvent plus énergiquement que dans les conditions normales, lorsqu'on emploie l'acide fluorhydrique ou l'un de ses sels.

Pasteur inventa aussi une méthode de séparation des diverses levures et leur culture à l'état pur. Il opérait de deux manières différentes.

1^o Une petite quantité de levure est desséchée et réduite en poussière fine avec du plâtre. Sur une table on place plusieurs ballons renfermant un liquide nourricier et, d'une assez grande hauteur, on laisse tomber, au-dessus de ces ballons, une pincée de la poudre de levure de façon à en faire un léger nuage. Il pourra ainsi arriver qu'il y ait un ou plusieurs ballons n'ayant reçu qu'une seule cellule de levure. Les ballons sont fermés et portés à l'étuve. Au bout de quelque temps la levure se développe : on l'examine au microscope, et si elle est pure, on en propage la culture pour étudier ses propriétés et s'en servir si elle remplit les conditions que l'on recherche.

415. *Méthode des dilutions.* — Cette méthode, employée par Lister pour les bactéries lactiques, et par Pasteur pour les levures, a été perfectionnée par Hansen.

Hansen combina la méthode de dilution avec la culture sur plaques inventée en 1883 par Koch : en même temps il donna un procédé de sélectionnement des différentes levures en se basant sur le temps que les cellules mettent à développer leurs exospores aux différentes températures.

On savait donc, avant les travaux de Hansen, produire des cultures issues d'une cellule unique, mais comme les méthodes étaient tant soit peu incertaines, elles ne pouvaient conduire à un résultat qu'entre les mains d'un expérimentateur habile. Le grand mérite de la méthode de Hansen c'est d'avoir permis à tout travailleur soigneux d'obtenir avec sécurité une culture de levure issue d'une cellule unique (1).

Applications des levures pures sélectionnées.

416. La méthode de Hansen, appliquée à l'étude des levures, conduisit à la découverte d'un grand nombre de races différentes de

(1) Fernbach. — La bière et les boissons fermentées.

levures de bière (*S. cerevisiæ*) et de levures de maladie (*S. pastorianus*), etc... Hansen sélectionna et cultiva à l'état pur un grand nombre de levures de brasserie, qui, depuis 1883, furent introduites avec grand succès dans les brasseries travaillant par fermentation basse. C'est dans cette industrie que l'application des levures pures était la plus facile et où elle a atteint le plus haut degré de perfection; aussi, d'après Jørgensen, quiconque désire se familiariser avec l'emploi de ce système, dans l'une ou l'autre branche de l'industrie de la fermentation, devra, par conséquent, toujours commencer par étudier les résultats obtenus dans une brasserie par fermentation basse.

En 1887, Hansen parvint, avec l'aide de Kühle, directeur de la brasserie de Vieux-Carlsberg, à construire un appareil pour la culture pure, permettant la production en masse des quantités de levure pure, relativement petites, obtenues dans les laboratoires.

On essaya également d'introduire la levure pure dans les brasseries par fermentation haute. Les essais furent surtout poursuivis en Belgique par M. Van Laer.

L'application du travail à la levure pure se heurta à de grandes difficultés qui le firent abandonner; et ces difficultés ne semblent pas encore complètement vaincues, si l'on s'en rapporte aux communications faites au congrès de Chimie de Bruxelles (août 1894), où M. Van Laer a déclaré qu'il a essayé sans résultat d'introduire la levure pure en brasserie par fermentation haute. Ces différences entre les résultats obtenus par les brasseries à fermentation haute et celles par fermentation basse tiennent surtout à la différence de température. Dans ces dernières la fermentation s'opère entre 5 à 7° C, températures très défavorables aux bactéries et aux moisissures.

M. Miquel a constaté que de l'eau de source maintenue au-dessous de 5° conserve pendant 24 et même 48 heures une teneur en bactéries sensiblement constante; la plupart de ces microbes sont immobilisés par le froid. Quant aux levures sauvages provenant de l'air, leur développement est également difficile. Tout autres sont les conditions dans lesquelles se trouve la fermentation haute. Les circonstances sont ici très favorables à la reproduction des ferments étrangers. M. Van Laer a obtenu d'excellents résultats en brasserie par l'emploi de levures mixtes convenablement mélangées et il a constaté que la levure mixte qui a donné ces résultats satisfaisants n'était autre que le mélange des diverses levures pures qui, isolément, n'avaient

donné que des produits absolument défectueux. Ces résultats sont parfaitement logiques et n'ont rien de surprenant ; il n'est pas étonnant qu'un mélange de plusieurs levures de race et par conséquent d'aptitudes différentes arrivent à soutenir une lutte dans laquelle une seule race succombe.

En même temps que les savants dont nous venons de voir les travaux poursuivaient leurs études sur les levures de bière, d'autres étudiaient les levures de la fermentation du vin.

Pasteur dit, dans ses Essais sur le vin (1876), que le moût de brasserie qui a fermenté avec de la levure elliptique a une odeur vineuse. En 1884, Rommier démontre que la vinification pratiquée à l'aide de levures cultivées peut procurer une augmentation de degré alcoolique du vin. En 1887, M. Duclaux remarque qu'une levure elliptique retirée d'un vin de Champagne communique aux liquides qu'elle fait fermenter le bouquet particulier à ce vin. En 1888, M. Marx, élève de Hansen, publia dans le *Moniteur scientifique* Quesneville un mémoire sur les levures de vin où il donnait le résultat de ses travaux commencés en 1885.

M. Marx cultiva ses levures à l'état de pureté absolue en les séparant d'après le temps variable qu'elles mettaient à former leurs ascospores ; il signala ainsi 58 espèces de levures de vin. Il constata que les espèces accusaient d'assez grandes différences dans leur pouvoir fermentatif, le bouquet qu'elles communiquent et leur résistance contre l'action des acides et des températures élevées. Reconnaissant l'impossibilité d'une stérilisation à 110°, qui donnait au vin un goût de cuit, il soumit au lavage les raisins qui devaient servir à la préparation de ses levains et constata qu'on éliminait ainsi la presque totalité des poussières qui adhèrent aux grappes et renferment des ferments.

Cette même année 1888, M. Jacquemin publia ses études sur la fabrication du vin d'orge qu'il obtenait en faisant fermenter par de la levure elliptique de Sauterne un moût d'orge tartarisé.

En 1889, M. Rommier indiqua la possibilité de communiquer le bouquet d'un vin de qualité à un vin commun : il avait mis en fermentation avec des levures cultivées du moût de chasselas qui donne un vin neutre et même du moût de raisin de serre qui est exempt de ferment. M. Martinand publia les résultats qu'il avait obtenus en ensemençant avec des levures elliptiques purs du moût provenant de raisins ayant séjourné 24 heures dans une solution à 5 % de bisulfite de soude, puis lavés à grande eau avant d'être écrasés.

Tous ces expérimentateurs arrivaient à peu près à la même conclusion, à savoir que la variété de levure employée avait une grande influence sur les caractères du liquide fermenté.

La première application en distillerie de la levure pure de race unique, tant en France qu'en Allemagne, a été faite aux Distilleries de la Méditerranée par M. V. Martinand, chimiste de cet établissement. Déjà en 1886, après les publications faites par Hansen, sur la différence de goût apportée dans la bière par des levures pures de diverses races, ces établissements avaient préparé une grande quantité d'alcool avec de la levure de vin.

A l'Exposition universelle de 1889, on pouvait voir différents échantillons de flegmes de maïs, d'alcool de maïs et d'eaux-de-vie de raisin, le tout fermenté avec des levures de vin. Ces levures, formant des espèces uniques isolées par les méthodes de Hansen et de Koch, étaient également exposées. Elles étaient ensemencées sur de la gélose ou *agar-agar* (1), dissous dans du moût de malt d'orge houblonné et étaient microbiologiquement pures.

A la Distillerie de la Méditerranée, les moûts mis en fermentation provenaient de la saccharification du maïs et de riz par l'acide chlorhydrique.

Nous avons vu que la levure pure de bière s'est rapidement répandue dans les brasseries par fermentation basse et que c'est là que Jørgensen conseille de l'étudier, parce que les conditions étant les meilleures, c'est dans cette partie de la brasserie que l'application en est la plus facile. Dans la distillation des grains par les acides, l'application des levures de vin était très facile aussi, car le moût est complètement stérilisé par la longue ébullition à l'air libre ou par une température de 120 à 130° durant près d'une heure si on opère sous pression. Avec les soins de propreté voulus, l'emploi du *S. ellipsoïdeus* est très facile et le sucre est très propre aux cellules de vin. La réussite de M. Martinand n'a donc rien de surprenant et il est certain que l'emploi des levures de vin se serait très rapidement répandu dans les usines de ce genre et de là dans les distilleries de betteraves et de mélasses, si une loi mettant des droits d'entrée sur les maïs étrangers n'était venue ruiner les usines travaillant les grains par les acides.

(1) Sorte d'algue japonaise qui renferme un principe ayant, comme la gélatine, la propriété de solidifier les liquides dans lesquels il est dissous. La proportion de gélose employée est de 1 à 2 % environ. En brasserie elle sert à clarifier sous le nom de colle du Japon ou *Isinglass*.

En 1888, M. Martinand avait publié une étude sur l'analyse des levures de brasserie. La méthode de Hansen permet, dans la généralité des cas, de distinguer une levure basse de brasserie d'une levure haute et de levures étrangères, cela en considérant le temps, beaucoup plus long, que mettent les cellules de levure basse à former leurs ascospores, si on les cultive sur des blocs de plâtre à la température de 25° ou 11°. Les levures hautes, au contraire, formant leurs ascospores à des intervalles de temps, se rapprochent fort de celui qui est nécessaire à la formation de celles des levures elliptiques, *il est très difficile de les reconnaître les unes des autres*, leur examen microscopique n'étant pas un guide assez sûr. M. Martinand avait essayé alors d'utiliser ce fait que le *S. ellipsoïdeus* ne fait pas fermenter les moûts de maltose aussi complètement que les *S. cerevisiæ* et *pastorianus*, fait qu'il avait observé dès 1886 et qui fut ensuite confirmé par une analyse d'Oenthor. Il avait opéré sur des levures de *S. cerevisiæ* de brasserie, de *S. cerevisiæ* de levure pressée, de *S. ellipsoïdeus*, d'*apiculatus* et de *pastorianus* qu'il avait ensemencé dans du moût de malt d'orge non houblonné, stérilisé 3 fois par la vapeur d'eau bouillante.

Après 6 jours de fermentation, la quantité de maltose non fermentée était en moyenne de 0,70 pour la levure pressée, 0,85 pour la levure de brasserie, de 2,25 pour le *S. ellipsoïdeus*, de 0,90 pour le *S. pastorianus* et de 10,5 pour le *S. apiculatus*.

En remplaçant, dans les expériences précédentes, le moût de maltose par une solution de sucre de canne inverti par HCl, solution contenant de faibles quantités de matières nutritives, azotées et minérales, on arrive à des résultats inverses, et les proportions de sucre inverti restées intactes après 6 jours à 25° sont en moyenne :

	POUR 100
<i>S. cerevisiæ</i>	0,186
<i>S. pastorianus</i>	0,197
<i>S. ellipsoïdeus</i>	0,033

Les différences obtenues avec le sucre inverti étaient à prévoir. En effet, Pasteur, dans ses *Études sur la bière*, dit que la

levure de bière haute se développe mal dans les moûts de raisin et que les vins restés doux après la fermentation principale contiennent des *S. pastorianus*.

En 1889, M. Martinand fit des essais dans le but de déterminer si la distillerie industrielle avait un réel avantage, pour obtenir des alcools purs, à employer des levures de vins plutôt que des levures de fermentation haute. En faisant fermenter des moûts provenant de la saccharification du maïs par l'Hcl avec diverses levures de vins et dosant les aldéhydes dans les flegmes par le réactif Gayon et les impuretés totales par l'appareil de Röse, M. Martinand obtint les résultats suivants en millièmes :

LEVURES DE :	ALDÉHYDES	IMPURETÉS TOTALES
Bourgogne	0,276	2,83
Bordeaux	0,346	3,15
Beaujolais	0,138	2,83
Distillerie.	0,484	3,15

L'alcool brut provenant des levures de vin renferme donc un peu moins d'impuretés que celui donné par la levure de distilleries, mais ces différences disparaissent dans l'alcool rectifié.

Dans une communication à l'Association des chimistes en 1889, M. Martinand cite les expériences qu'il a faites pour s'assurer de la constance des caractères propres à chaque levure et de l'immutabilité de chaque cellule, ce qu'avait démontré P. Lindner pour le *S. cerevisiæ*. Un grand nombre de levures du genre *cerevisiæ* ou ellipsoïdeus, examinées après un an de culture dans des milieux différents, formaient leurs ascospores dans les mêmes limites de temps que celles primitivement observées; leur puissance fermentative et la dose d'impureté contenue dans les alcools issus de leur fermentation étaient aussi analogues aux résultats primitifs.

M. Martinand arrivait à la conclusion suivante :

L'emploi, dans la distillerie, d'une race unique de levure, que ce soit une levure de brasserie ou levure de vin, est à conseiller; non pour mettre à profit les différences sur la quantité d'impuretés que donne en moins la culture d'une levure, ni pour l'arome agréable qu'elle peut communiquer à l'alcool brut (ces différences n'existant plus quand l'alcool a été rectifié), — mais pour bénéficier de ce que peuvent révéler des essais de labora-

toire, comme, par exemple, la rencontre d'une levure faisant mieux fermenter telle qualité de sucre (maltose, sucre de canne, glucose) ou qui résiste plus facilement à l'invasion des ferments étrangers, à l'influence de l'acide butyrique, etc....

M. Martinand ne put continuer ses essais en distillerie, mais il les poursuivit dans la vinification et, en collaboration avec Rietsch, il prépara de grandes quantités de levure pure qui furent employées aux vendanges de 1889 et 1890.

En 1890, M. G. Jacquemin, qui cultivait depuis plusieurs années des levures de vin pour la préparation du vin d'orge dit « Bière soleil », étudia également l'influence de ses levures dans la fabrication des vins de raisin et fonda en 1891 l'Institut la Claire pour la culture des levures pures. En 1892, il introduisit ses levures pures de vin dans la grande distillerie Tilloy-Delaune et C^{ie}, à Courrières, qui les appliqua à un travail journalier de 4.500 hectos de moûts de mélasse représentant plus de 300 hectos d'alcool. Ce procédé fut ensuite appliqué au travail des betteraves et des mélasses chez M. Porion, de Wardrecques, puis successivement dans plusieurs autres grandes distilleries de betteraves et de mélasses.

D'après ce que nous écrit M. Jorgensen, ce fut lui qui introduisit dès 1887 l'emploi de la levure pure dans quelques distilleries et quelques fabriques de levure pressée.

D'après ce que nous avons vu précédemment, les premières applications de la levure pure furent faites, en France, avec des levures de vins; la levure haute fut également employée à notre connaissance à la Distillerie Kiderlen, de Bordeaux.

En Allemagne quelques usines avaient également essayé de travailler avec des *S. cerevisiæ* purs et sélectionnés.

Au commencement de 1892, l'Association des distillateurs allemands, à l'instigation de Delbrück et de P. Lindner, entreprit de préparer en grand la levure pure et de la fournir au plus bas prix possible à tous les distillateurs. C'est surtout l'émotion soulevée en Allemagne par le brevet Effront qui provoqua ce grand élan vers les levures pures.

On sait que les distillateurs allemands, de pommes de terre ou de grains, font tous subir à leurs moûts à levain une fermentation lactique dans le but de développer dans ces moûts une acidité suffisante pour protéger les levures contre l'influence néfaste des bactéries. Ce système a l'inconvénient d'introduire dans le moût des bactéries lactiques dont l'action se continue ensuite dans le

moût principal et qui transforme une certaine quantité de sucre au détriment du rendement en alcool ; mais comme l'on avait essayé en vain de remplacer cet acide par des acides minéraux que l'on trouve partout à bon compte dans le commerce, on considérait cette fermentation lactique comme un mal nécessaire. L'objet du brevet de M. Effront était la suppression de l'acidification lactique et son remplacement par l'addition d'une certaine dose d'acide fluorhydrique.

Comme le fait ressortir le Dr Effront, on ne saurait prétendre à réaliser une fermentation idéale déterminée par une race unique de levure et exempte de tous ferments étrangers aussi longtemps que ces mêmes ferments seront introduits volontairement dans le moût et dans l'atmosphère entière de l'usine. On s'explique donc pourquoi l'on cherche de longue date à délaissier cette pratique dangereuse, et les nombreux essais tendant à remplacer l'acide lactique par un produit purement chimique, prouvent abondamment l'importance de la question. Si toutes ces recherches ont abouti à des résultats insuffisants, c'est pour la raison bien simple que la plupart des antiseptiques bactéricides sont nocifs pour la levure et affectent profondément la diastase.

Comme nous l'avons vu, le premier procédé d'Effront ne conduisit à un bon résultat que dans les usines dont le travail était mauvais. Néanmoins les exigences de l'inventeur firent chercher une autre voie que celle qu'il préconisait et on crut l'avoir trouvée dans l'emploi de la levure pure ; ce procédé s'introduisit également dans les distilleries allemandes.

Pendant qu'on introduisait ces deux procédés, qui constituent un progrès énorme, dit le Dr Cluss (Congrès de Bruxelles, 1894), on les a, dans une certaine mesure, mis en opposition ou mieux en concurrence, de sorte que l'on se demandait : Obtient-on en distillerie un plus grand avantage de l'acide fluorhydrique ou de la levure pure ?

Ce fut tout particulièrement l'école de Berlin qui, dans cette question de concurrence, crut devoir donner la préférence à l'emploi de la levure de culture pure. Delbruck et ses partisans portaient de ce point que, dans un travail bien conduit, on n'a pas besoin d'antiseptiques, et surtout qu'en introduisant la levure de culture pure, l'emploi de moyens antiseptiques est superflu et que les résultats que donnent ces derniers ne compensent pas les frais.

On espérait, avec la levure pure seule, sans antiseptiques, sans

acide fluorhydrique, vaincre toutes les difficultés. Le procédé conseillé par Delbruck était celui-ci : Produire l'acidification lactique aussi pure que possible en maintenant le moût à 50° C, porter ensuite à la température de 70° que l'on maintient quelque temps pour tuer le ferment lactique et ne refroidir qu'au moment d'ajouter la levure pure, de façon que celle-ci puisse agir immédiatement après refroidissement et qu'il n'y ait aucun instant inutile, aucun *point mort* dans le travail.

Cette idée trouva encore un appui dans l'opposition soulevée par Hansen et ses élèves contre le procédé à l'acide fluorhydrique, opposition basée sur ce que l'emploi de l'acide fluorhydrique avait pour conséquence les mêmes phénomènes dangereux que le procédé à l'acide tartrique de Pasteur, notamment que les levures de maladies étaient favorisées au détriment des levures de culture.

Effront était évidemment allé trop loin en croyant avoir trouvé dans l'acide fluorhydrique un moyen de purifier la levure, non seulement des bactéries, mais aussi des races de levure fermentescibles. Par exemple, en admettant qu'avec l'aide des combinaisons du fluor, il pouvait séparer d'une levure impure mélangée, les espèces moins propres à la fermentation, il tendait, lui aussi, à mettre l'acide fluorhydrique et la levure de culture pure en concurrence, et ce en faveur du premier.

Il s'en est suivi une polémique acharnée. En réalité pour nous, disait Effront, l'Ecole de Copenhague est entrée dans une fausse voie, lorsqu'elle a cru voir dans de légères modifications physiologiques, provenant des différents modes de nutrition, des signes distincts de race. Les nombreuses races de levure que Hansen nous a montrées, sont si peu distinctes l'une de l'autre, et leurs caractères différentiels si peu palpables, que nous nous demandons si Hansen et son école n'ont pas perdu leur temps; après un travail assidu de dix ans, ils ne sont parvenus qu'à donner les caractères distinctifs, tout au plus, de quatre ou cinq races, et encore ces caractères ne sont-ils que plus ou moins acceptables.

Après de longues et patientes recherches, le Dr Cluss, élève de Märcker, est arrivé à la conviction que l'acide fluorhydrique et la levure de culture pure ne s'excluent pas réciproquement, pour la bonne raison que tous deux agissent dans une voie différente, et que chaque procédé comporte des avantages qui ne peuvent être obtenus ou qui ne sont qu'imparfaitement obtenus par l'autre.

On ne peut, en employant l'acide fluorhydrique, obtenir une culture réellement pure — celle-ci ne peut être atteinte que par

les moyens préconisés par Hansen — ni une purification d'une levure impure de distillerie, allant jusqu'à éliminer, outre les bactéries, les levures de maladie. Du reste, pour ce qui est de l'ancien procédé à l'acide fluorhydrique, le danger signalé par Hansen, que le cas pourrait se produire où une levure fût plus favorisée par l'antiseptique que la levure de culture, existe toujours.

Mais, d'un autre côté, il est certain que l'introduction de la levure de culture pure n'exclut en aucune façon l'emploi de moyens de désinfection ni ne les rend superflus, car la levure pure ne remplit pas les fonctions d'un antiseptique, et, pour plusieurs raisons, on ne peut se passer d'antiseptique en distillerie. Outre la nécessité de l'emploi extérieur de moyens de désinfection dans le but de nettoyer, l'emploi d'antiseptiques dans la masse en fermentation elle-même n'est pas rendu superflu par le fait qu'on se sert de levure pure dans le travail de distillerie, ainsi que Hansen l'admet pour la brasserie, pour la simple raison qu'en considération de la diastase, on ne peut pas stériliser par ébullition (et addition de houblon) comme on le fait en brasserie; les moûts de distillerie sont donc beaucoup plus exposés à l'infection que le moût houblonné et la bière, dans la brasserie. En toutes circonstances, la protection que procure à la diastase un antiseptique approprié, lui est très profitable.

Par conséquent, le procédé à l'acide fluorhydrique donnera, même en employant la levure pure, tous les avantages constatés précédemment relativement à l'action de la diastase, et avant tout une économie considérable de malt.

Mais même au point de vue des rapports de la levure et de la fermentation, l'introduction de la levure pure n'amènera pas un changement tel qu'il ne reste plus un vaste champ d'action pour les antiseptiques. On a la meilleure preuve de l'absolue nécessité d'un antiseptique, en distillerie, dans le fait que, même en introduisant la levure pure, le procédé d'acidification du levain — qui n'est, en somme, qu'une mesure antiseptique — est conservé.

Effront a imaginé dans ces dernières années un nouveau mode de travail à l'acide fluorhydrique, qui donne une solution complète du problème de la culture de la levure sans fermentation lactique et peut parfaitement s'appliquer avec la levure pure. Il consiste à cultiver la levure dans des milieux contenant des doses croissantes de fluor, de façon à l'acclimater à cet antiseptique, et à ensemercer ensuite cette levure dans le moût à fermenter additionné d'une certaine dose d'un composé fluoré.

Les espèces de levures étrangères qui pourraient pénétrer dans le milieu fortement fluoré de la levure acclimatée, même si en elles-mêmes elles possédaient un pouvoir d'accoutumance à l'acide fluorhydrique plus grand que la première, devront successivement succomber dans cette sphère à laquelle elles sont totalement inaccoutumées.

Delbrück a fait, au sujet du procédé Effront, une objection fort judicieuse à laquelle beaucoup d'autres avaient réfléchi. Il s'est demandé si certains organismes dangereux d'acidification ne finiraient pas, eux aussi, par s'accoutumer au milieu fluoré, et alors faire une concurrence d'autant plus forte à la levure. A cela il faut répondre que l'accoutumance aux antiseptiques ne peut se faire que par une culture successive dans des doses croissantes de réactif ; si l'organisme d'acidification arrive directement dans un milieu aussi fortement fluoré que celui dans lequel se trouve la levure acclimatée, il ne peut y prospérer.

Le D^r Cluss conclut donc que l'emploi de la levure pure combiné avec celui du nouveau procédé Effront permet de supprimer l'ancienne acidification lactique et de travailler d'une façon vraiment idéale avec la levure pure. Mais nous pensons que ce procédé basé sur l'antisepsie ne répond pas à la conception scientifique de la bactériologie moderne. L'idéal est un travail complètement aseptique sans l'emploi d'aucun produit chimique, calqué sur ce qui se fait dans les laboratoires de microbiologie. C'est le procédé réalisé par M. A. Boidin, et que personne n'a su réaliser d'une façon réellement pratique avant lui.

Levures de vin

417. C'est sur les grappes de raisin que l'on va cueillir les germes destinés à la préparation des levures de vin. La surface de ces fruits est recouverte de microorganismes très divers et en nombre considérable.

D'après M. Martinand (1) la levure elliptique est en très petite quantité à la surface des raisins ; elle est souvent inférieure à 200 individus par 10 cc. de moût, tandis que la levure apiculée (*S. apiculatus*) et les moisissures sont comptées par millions d'individus. Les bactéries, les *mycoderma vini* sont aussi plus nombreux que la levure elliptique.

(1) Etude sur la fermentation alcoolique du vin.

Avant la maturité complète des raisins on rencontre des moisissures parmi lesquelles domine l'*Aspergillus niger* : plus tard, au fur et à mesure de la diminution de l'acidité des grains, c'est le *penicillium glaucum* qui s'y trouvera en plus grande quantité, et surtout pendant les périodes pluvieuses et humides. La levure apiculée précède aussi l'apparition de la levure de vin qui ne se trouve sur les fruits qu'au moment de leur maturité et quand leur teneur en acide a diminué. Les expériences faites avec cette levure démontrent que ce *saccharomyces* se trouve sur tous les fruits sucrés mûrs ; on le reconnaît aussitôt que le sucre apparaît dans les fruits, principalement sur ceux très précoces, comme la fraise. En hiver, à la fin des vendanges, cette levure commence à disparaître et l'on remarque que les raisins contiennent moins de levure apiculée que pendant le mois de septembre ; elle est entraînée par les pluies à la surface du sol ou à une profondeur ne dépassant pas quelques centimètres : c'est là qu'elle vit pour reparaitre au printemps.

Nous avons dit que la levure elliptique était peu répandue à la surface des raisins. D'après les expériences de M. Martinand, une des causes de la rareté de ce *saccharomyces* est sa destruction par l'action combinée de la chaleur et de la lumière des rayons solaires. A 43°, les levures de vin, *S. Apiculatus* et *S. ellipsoïdeus*, en activité, sont détruits après une exposition de trois heures à cette température. A des températures plus basses, si elles ne sont pas tuées, elles subissent une altération plus ou moins profonde, dont la conséquence est qu'elles mettront de quarante-huit heures à trois jours, avant de faire fermenter le moût dans lequel on les enseme. L'action nocive de la chaleur et de la lumière sur la vitalité des *S.* permet d'expliquer pourquoi les levures sont peu répandues sur les raisins non abrités. Le grand nombre d'*Apiculatus* que l'on trouve sur les raisins situés dans le bas des ceps est dû en partie à la protection apportée par les feuilles, mais surtout au voisinage du sol, qui en contient d'énormes quantités.

Si l'on écrase les raisins et qu'on abandonne le moût à lui-même, il entre bientôt en fermentation. Si l'on suit celle-ci au microscope, on commence à apercevoir (1) de petits organismes représentés par des cellules rondes ou ovales, puis par d'autres plus ou moins allongées. Ces petites cellules rondes ou renflées aux deux extrémités sont de la levure apiculée ; elles vivent et se

(1) Martinand. — Fermentation alcoolique du vin.

développent dès le début de la fermentation. Ce sont elles qui forment la plus grande partie de l'alcool produit : leur action diminue au fur et à mesure que le liquide devient alcoolique sans cependant être jamais nulle. Les cellules plus ou moins ovales sont, pendant la première phase de la fermentation, des spores ou des conidies de moisissures qui se reproduisent et vivent comme les levures, avec l'apparence d'être de vraies levures de vin ; leur action est diminuée plus ou moins rapidement et dépend des conditions dans lesquelles la fermentation s'opère. On y rencontre aussi de grandes quantités de *mycoderma vini*.

Mais la vie de tous ces organismes est enrayée aussitôt qu'a lieu le développement de la levure de vin proprement dite, le *S. ellipioideus*, levure qui est généralement, comme nous l'avons vu, en très petite quantité dans la vendange, et que l'on trouve sur les raisins dans un état qui ne lui permet pas de faire fermenter directement les liquides sucrés : elle doit, en effet, pour cela, passer par une phase de rajeunissement plus ou moins longue. Il en est ainsi lorsque les raisins ne sont pas cueillis très mûrs, car la levure est, dans ce cas, en plein développement.

Quel que soit l'état de la vendange, la levure elliptique s'y trouve en très petite quantité par rapport à la levure apiculée, aux moisissures, aux *mycoderma* et aux bactéries. Une température trop basse et une température trop élevée sont également défavorables à la fermentation des *saccharomyces* et favorisent le développement des bactéries nuisibles.

La levure apiculée donne, pour une égale quantité de sucre décomposé, moins d'alcool que la levure elliptique ; les bactéries et les moisissures, de leur côté, n'en produisent que de très petites quantités.

Culture des microorganismes dans du moût gélatiné

418. Les appareils nécessaires pour cette culture sont :

- 1° Un four dit *four à flamber* dans lequel on peut facilement chauffer à 180°;
- 2° Une autoclave dans laquelle on peut chauffer sous une pression de deux atmosphères, soit à 120° C ;
- 3° Un thermostat ou étuve à température constante pour le développement des cultures ;

4° Une série de boîtes de Pétri dans lesquelles se font les cultures ;

5° Une série de petits tubes à essai pour la conservation du moût gélatiné stérilisé ;

6° Une série de ballons Pasteur de 60-250-500 cc. ;

7° Des chambres humides et des plaques quadrillées.

Préparation du milieu de culture

419. Le milieu de culture le plus employé est le moût gélatiné (1). Proposé d'abord par Bréfeld, il a été généralisé par Koch « en empêchant les microbes mobiles de se déplacer, et ceux qui ne le sont pas d'être déplacés par les mouvements du liquide, le milieu à la gélatine force chaque germe à se développer sur place et à y former une *colonie*, bientôt visible à l'œil nu, dont la forme, la couleur, la croissance superficielle ou profonde, l'action sur la gélatine sont autant de caractères bons à consulter et dont quelques-uns même, dans des circonstances données, peuvent devenir différentiels. Les myceliums, dont la croissance est en général surtout terminale, y forment des arborescences variées à ramuscules à peu près rectilignes. Les bacilles, qui poussent sur toute leur longueur, doivent, à raison des résistances qu'ils rencontrent à leurs extrémités, se courber en arc, et donner, surtout lorsqu'ils sont gros, des arborisations à ramuscules courbes ou des enchevêtrements parfois très compliqués. Les cocci et les levures, à raison de leur forme et de leur mode de multiplication, donnent de préférence des colonies denses et à contours réguliers.

Pour la culture des levures on se sert d'un moût de malt gélatiné ; pour la recherche des bactéries on emploie le bouillon gélatiné. Ce dernier ne convient pas aux levures.

« Pour préparer la gélatine au bouillon, la plus usitée, on fait une macération de viande maigre et hachée dans deux fois son poids d'eau, et on passe à la presse après 8 à 12 heures. A cette macération on ajoute, par litre, 100 gr. de gélatine, 10 gr. de peptone, 5 gr. de sel marin, et on chauffe lentement au bain-marie en ne dépassant pas 60°. Quand tout est dissous, on alcalinise avec une solution concentrée de soude à 10 %, mais sans excès ;

(1) Duclaux. Traité de microbiologie. Chez Masson, Paris, 1898.

la gélatine chauffée en milieu trop alcalin est attaquée et ne fait plus prise en se refroidissant.

» On chauffe ensuite à 100° pendant une heure à l'autoclave ou au stérilisateur à 100°. Les matières qu'a respectées le premier chauffage à 100° se séparent, avec des phosphates, du milieu devenu alcalin, et il se fait un collage, de sorte que si on jette sur un filtre à filtrations chaudes, on obtient en général un liquide limpide. Quand il ne l'est pas, on le laisse refroidir vers 55°, on y jette un blanc d'œuf étendu de 5 ou 6 fois son volume d'eau. On chauffe de nouveau à 100° et on filtre. Les parois de l'entonnoir doivent être maintenues à 100° par un bain d'eau ou de vapeur. En employant du papier Chardin on a une filtration très rapide à cette température.

» Le liquide filtré est ensuite réparti dans les vases de culture préalablement stérilisés à 180°, car on ne peut pas chauffer à 115° la gélatine sans l'altérer. Il faudra donc employer la méthode de Tyndall, qui serait sans action sur les germes déposés sur les parois du vase de culture. »

La méthode de Tyndall, la meilleure de toutes, consiste à chauffer au bain-marie à l'ébullition pendant 3 jours consécutifs à 24 heures d'intervalle.

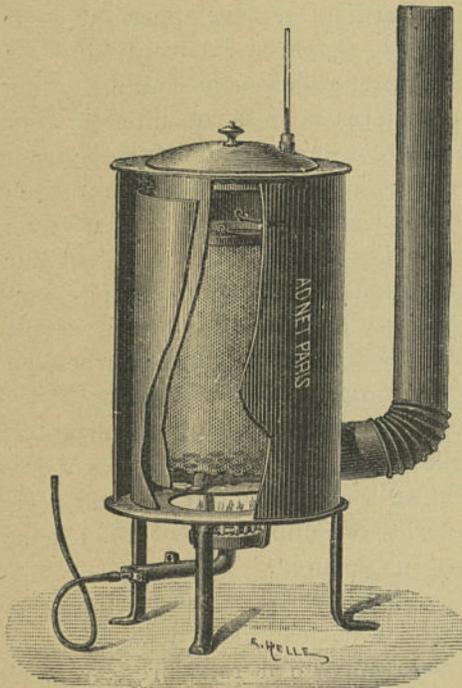


Fig. 211. — Four à flamber.

Four à flamber

420. Pour le chauffage à sec (1) on emploie d'ordinaire un vase cylindrique en tôle, l'éché directement par une flamme de gaz sur sa base, et contenant soit un faux-fond percé

(1) Duclaux. Traité de microbiologie, 1898.

de trous, soit un panier à claire-voie dans lequel on dispose les vases ou objets à flamber. Il faut fermer avec un tampon de coton toutes les ouvertures qui supportent ce mode de bouchage. Les verres à pied, les boîtes à couvercles, les vases à précipité seront simplement couverts d'un capuchon rabattu de papier à filtre, ou pliés dans ce papier. A la condition de traiter avec ménagement ces fermetures incomplètes, de ne pas découvrir les objets et de les conserver à l'abri des courants d'air dans une armoire close, on peut en retirer à peu près les mêmes avantages que des fermetures au coton.

« Dans tous les cas, il faut arriver, dans le chauffage, à une température qui commence à roussir le coton ou le papier. On laisse refroidir dans le four à flamber, de façon que l'air qui rentre dans les vases par refroidissement soit autant que possible de l'air flambé et, par conséquent, pur de germes ».

Stérilisation humide. Autoclave.

421. Si on veut stériliser par la méthode de Tyndall, on se sert simplement d'une marmite en fer-blanc qui reçoit à l'intérieur un support sur lequel on place les vases contenant les liquides à stériliser. On introduit dans la marmite de l'eau de façon que les vases y plongent suffisamment, puis on chauffe trois fois à 100° pendant cinq minutes chaque fois et à vingt-quatre heures d'intervalle.

Pour stériliser à 120° on se sert de l'autoclave. L'autoclave de laboratoire diffère de celle que l'on emploie dans les usines (222) en ce qu'elle ne présente qu'une ouverture occupant toute la partie supérieure et fermée par un couvercle serré par une dizaine de boulons à charnière.

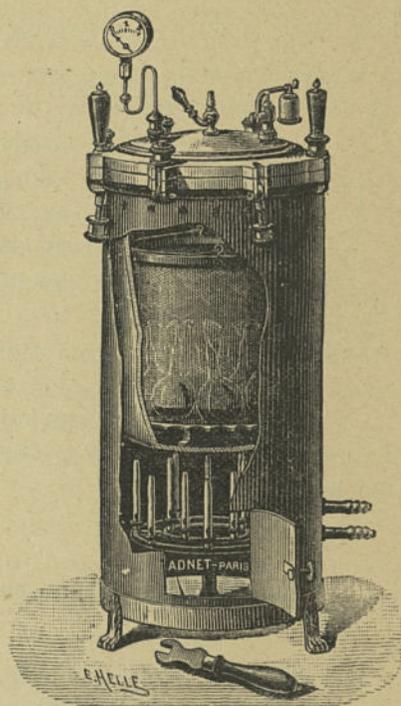


Fig. 212.

On pose les vases à stériliser sur un double-fond ou dans un panier, on met au fond de l'autoclave quatre à cinq centimètres d'eau, on ferme le couvercle en laissant le robinet d'air ouvert, on porte à l'ébullition, et on ferme le robinet d'air quand la vapeur sort avec force par ce robinet. Bref, on opère exactement comme nous l'avons expliqué pour le Krüger (222). L'expulsion complète de l'air est indispensable pour assurer une température régulière dans l'autoclave.

La stérilisation achevée, on retire le feu et, quand la pression est presque tombée, on ouvre le robinet d'air puis on enlève le couvercle. Il faut bien se garder d'ouvrir trop rapidement le robinet d'air et de défaire le couvercle avant d'avoir ouvert ce robinet.

422. *Boîtes de Pétri.* — Les vases de culture qu'on emploie sont presque toujours des boîtes de Pétri. Elles se composent de deux petits cristallisoirs en verre qui entrent l'un dans l'autre sans frottement. On enveloppe chaque boîte dans une feuille de papier à filtre et on les stérilise en les chauffant dans le four à flamber jusqu'à ce que le papier jaunisse sans se carboniser. On conserve ensuite ces boîtes enveloppées de leur papier dans des armoires à l'abri des poussières. Quand

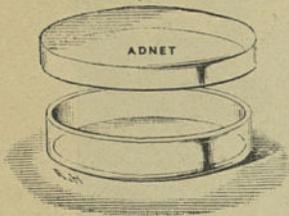


Fig. 213. — Boîte Pétri.

on a un ensemencement à faire, tout est prêt et aucune stérilisation n'est à faire.

Manière de faire une culture dans des boîtes Pétri

423. On a toujours sous la main un grand nombre de petits tubes à essai, contenant de la gélatine nutritive. Ces tubes sont bouchés par un tampon de coton et ont été stérilisés à l'autoclave, puis conservés dans des armoires. Pour mieux les garantir contre les poussières, on recouvre généralement le tampon de coton d'un capuchon qu'on n'enlève qu'au moment d'utiliser le contenu du tube.

Pour faire un ensemencement, on liquéfie le contenu du tube en le pressant entre les mains ou en le plongeant dans de l'eau à 30-35°. « Lorsque la gélatine est bien liquide, on prend à l'aide d'un fil de platine une gouttelette de culture, et on l'y introduit.

On rebouche le tube, on flambe le coton et les bords de l'orifice, on stérilise l'aiguille, puis on fait rouler rapidement le tube entre les paumes des deux mains, en le tenant bien vertical, de façon à bien mélanger ce qu'il contient sans y former de bulle d'air.

Ce premier tube contient beaucoup de microbes, pour peu que la gouttelette de liquide qui a apporté le fil de platine en soit chargée. Les colonies, en se développant, seraient trop serrées, et outre qu'elles pourraient se nuire par leur rapprochement, elles seraient très difficiles à compter. Il y a le plus souvent avantage à faire une nouvelle dilution, en opérant avec le premier tube ensemencé comme on l'a fait avec la culture originelle. Parfois même, il sera utile d'en faire une troisième, une quatrième. Si on connaît à chaque fois le volume du liquide employé, le calcul de la dilution finale est facile.

Toutes ces dilutions sont coulées séparément chacune dans une boîte Pétri. Pour cela on prend le tube, on le débouche en l'inclinant, on flambe l'orifice en le passant dans la flamme, et soulevant de l'autre main le couvercle de la boîte Pétri, on y étale la gélatine, et on referme le couvercle. Le tube est refermé à son tour avec son tampon de coton, et couché horizontalement : on étale, en inclinant la boîte, sur un corps froid ou même sur de la glace, pour hâter la prise de la gélatine. On retourne aussi le tube pendant son refroidissement pour étaler sur la paroi ce qui y reste de gélatine, et quand le milieu de culture est redevenu solide, on met à l'étuve entre 15 ou 20°. La numération se fait à l'œil nu, ou avec un oculaire quadrillé, dans la dilution où elles sont un peu serrées, sans l'être trop, et on peut ainsi avoir une idée du nombre d'êtres vivants dans la gouttelette de culture ensemencée à l'origine.

On peut même, en examinant, soit à l'œil, soit à un faible grossissement, les colonies développées dans la boîte de Pétri, voir si elles se ressemblent, et peuvent être considérées comme appartenant à une même espèce, ou si elles diffèrent, et si, par conséquent, la culture qui les a fournies était impure.

424. *Culture dans une chambre humide ou en gouttes pendantes.* — Avec les boîtes Pétri on ne peut suivre le développement des membres d'une colonie qu'à l'œil nu ou au moyen d'une loupe. Quand on veut le suivre au microscope, il faut employer la culture en gouttes pendantes.

Sur une lamelle de verre mince, d'environ 3 cm. de diamètre, on dépose, au moyen d'une pipette ou d'un fil de platine bouclé,

une gouttelette stérilisée de liquide préalablement ensemencé dans un ballon Pasteur (fig. 214) ou dans un tube à essai. On retourne ensuite cette lamelle sur un anneau de verre porté par la lame, ou sur une cavité qui y est creusée (chambre humide) (fig. 215). Dans le petit réservoir ainsi constitué, on verse quelques gouttes d'eau stérilisée. L'étanchéité de la chambre est obtenue par de la vaseline.

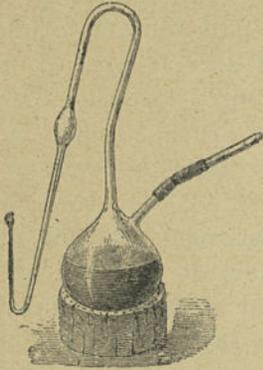


Fig. 214. — Ballon Pasteur.

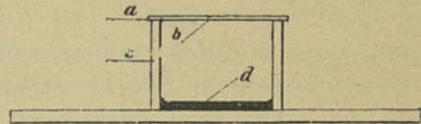


Fig. 215. — Chambre humide de Boettcher.

a. Couvre-objet. — b. Milieu gélatiné.
c. Anneau de verre. — d. Eau stérilisée.

On abandonne ce petit appareil à la température d'appartement ou on le place dans un thermostat (étuve) à une température convenable dont on le retire de temps en temps pour l'examiner au microscope.

Après deux ou trois jours chaque cellule a formé une colonie qui apparaît sous forme d'une tache grise visible à l'œil nu.

Au moyen d'un fil de platine flambé, on pique la gélatine à l'endroit des colonies et on ramène une petite parcelle que l'on ensemence dans un ballon Pasteur de 125 cc., contenant du moût stérilisé. A chaque opération on ensemence 4 ou 5 ballons.

La levure se multiplie et, au bout de quelques jours, forme un dépôt abondant au fond de chaque ballon.

Si l'on a bien opéré et si tout a réussi, on a dans chaque ballon une culture pure. Quelques microbiologistes admettent que les cultures ainsi obtenues sont toujours pures et se contentent de propager ces cultures et d'en étudier les propriétés fermentatives ; mais d'autres étudient aussi les caractères botaniques des levures isolées.

Culture sur blocs de plâtre

425. « Pour distinguer les différentes races de levures, dit Müller-Thurgau, on attache une très grande importance au temps que la levure, placée dans des conditions spéciales, met pour former des spores. Moi, je ne tiens pas compte de cette circonstance, parce que la formation des spores est une chose tout à fait spéciale, et l'on n'a jamais observé que des ferments de races diverses doivent se comporter différemment dans la sporification ; en général, on ne comprend pas les relations qui peuvent exister entre l'activité du ferment et celle des spores. J'ai pu constater que la formation des spores d'une même race oscille d'une manière non négligeable selon les conditions dans lesquelles le liquide a été tenu précédemment ; pour cela je me suis mis à étudier, de préférence, l'activité des mêmes liquides pour distinguer les ferments l'un de l'autre. »

Le temps a donné raison à M. Müller-Thurgau. La culture sur blocs de plâtre est rarement utilisée aujourd'hui, et pour la différenciation des levures c'est toujours non à la botanique mais à la méthode physiologique qu'on a recours.

Comme (1) les ascospores se forment aux dépens du protoplasme, il va de soi que nous ne pouvons utiliser que des cellules vigoureuses à la sporulation. Mais comment rajeunir les levures obtenues dans nos cultures en gélatine ? Avec un fil de platine muni d'un œillet, on prend cet œillet plein de levure qu'on porte dans 10 cc. de moût contenu dans un petit flacon qu'on abandonne une journée à la température d'appartement.

Le lendemain on décante le moût surnageant le dépôt et on le remplace par du moût provenant d'un autre petit flacon ; on abandonne maintenant le mélange durant vingt-quatre heures à la fermentation dans un thermostat à 25° C.

La levure de dépôt obtenue contient en général un nombre suffisant de cellules pouvant donner une vigoureuse sporulation. Ce n'est que dans des cas tout à fait rares qu'on peut trouver, dans le moût fermenté, des cellules ayant donné des spores, par exemple quand on opère avec la levure de Ludwig, le schizosaccharomyces et la levure de Bail qu'on a pu observer une sporulation.

(1) Microscopische Betriebseontrolle in den Gährungsgewerben.

Pour produire les spores, le meilleur milieu est une surface porcuse, tenue modérément humide et sur laquelle l'oxygène a un libre accès. A cet effet on se sert généralement d'un petit bloc de plâtre.

Dans une grande terrine on gâche du plâtre déshydraté en poudre avec un poids égal d'eau et on mélange intimement de façon à obtenir une pâte épaisse et homogène. On verse cette masse dans un certain nombre de petites formes en fer-blanc et nickelées qu'on frappe sur la table jusqu'à ce que toutes les bulles d'air soient sorties du plâtre; puis on abandonne les formes au repos jusqu'à solidification. Quand on ne peut pas enlever le bloc du moule en frappant de petits coups, on aide en chauffant la forme.

Pour stériliser le bloc ainsi préparé, on le met durant une demi-heure dans de l'eau bouillante. En refroidissant ensuite le vase avec l'eau et le bloc tout ensemble, on a à sa disposition de l'eau stérilisée et un bloc humide.

On verse ensuite un peu de cette eau dans une petite capsule en verre (petit cristalliseur) où l'on place le petit bloc. Si le bloc est assez grand on peut, avec un gros clou, tracer plusieurs divisions numérotées de 1 à 5. Sur chaque espace on peut placer un échantillon de levure. Le tout est ensuite placé dans deux verres plus grands dont le fond est recouvert d'une double couche de papier buvard, et est introduit dans le thermostat.

La levure à porter sur le plâtre doit être aussi bien que possible débarrassée de moût. Pour y arriver, on décante avec précautions le moût qui surnage dans les petits flacons où l'on rafraîchit la levure; on laisse simplement la quantité de levure nécessaire pour que la levure plus ou moins tassée puisse encore couler. On flambe alors le col du verre, on laisse refroidir quelque temps, puis on déverse la levure sur le plâtre en répandant le dépôt aussi régulièrement que possible.

Pour bien caractériser les levures, il convient de déterminer entre quelles limites de température la sporulation se produit et le temps nécessaire pour que les spores prennent naissance aux différentes températures. Jusqu'ici des déterminations aussi complètes n'ont été faites que pour quelques levures. De telles recherches exigent beaucoup de temps et ne peuvent se faire sans de bons thermostats. D'une façon générale, on peut dire que l'utilité pratique de ces expériences ne répond pas à la peine qu'il faut se donner. Les résultats diffèrent immédiatement quand

les cellules portées sur le plâtre ne se trouvent pas exactement dans le même état physiologique. On ne sait encore que peu de choses sur la manière de reconnaître l'état le plus approprié à la sporulation.

En rafraichissant la levure pendant un temps plus long, on obtient déjà d'autres résultats. La composition chimique du moût influence également sur la nutrition de la cellule. D'après Aderholdt, la teneur en azote du milieu nourricier a une grande importance. En cultivant des levures de vin dans du moût naturel d'une richesse moyenne en azote et dans du moût plus concentré pauvre en azote, il trouva que les cultures provenant de ce dernier moût formaient en partie leurs spores plus tard. C'est ainsi qu'on peut expliquer les différences constatées entre les résultats de Marx pour les levures de vin françaises et celles d'Aderholdt pour les levures de vin allemandes.

Les résultats ont une plus grande valeur scientifique quand on peut, avec un même dépôt de levure, charger un grand nombre de blocs de plâtre qu'on place dans un thermostat de Panum dont les subdivisions offrent une échelle des différentes températures. On peut alors comparer les résultats entre eux, parce que la levure placée sur les différents blocs de plâtre est censée dans le même état physiologique.

Jusqu'ici, dit Lindner, on a toujours fait ces recherches suivant les prescriptions de Hansen, mais il faudra aussi étudier pour chaque levure quel système de rajeunissement prédispose les cellules à donner des spores avec la plus grande rapidité et en plus grand nombre. Pour maintes levures, par exemple, les saccharomyces mycodermes sporogènes, qui ne feront pas ou très peu de dépôt, et qui ne font pas ou très peu fermenter les moûts, les recherches dans ce sens sont absolument indispensables. Bayerinck n'a-t-il pas annoncé dernièrement que le *Sacch. apiculatus*, dont on n'a jusqu'ici jamais observé de spores sur le bloc de plâtre, en produit réellement dans la nature ?

Comme on ne peut pas savoir, avec des levures nouvelles, quand la sporulation commence, il faut commencer de bonne heure à prendre des épreuves qu'on examine au microscope. On opère ainsi : on gratte avec un fil de platine stérilisé une petite quantité de la couche supérieure de levure et on la transporte sur une plume préalablement trempée dans l'eau stérilisée. Avec celle-ci on fait sur le couvre-objet d'un porte-objet creux plusieurs longs traits que l'on examine au microscope. Plus tard on note à

la partie supérieure du couvre-objet le numéro et l'heure de l'essai. Si l'on a plusieurs cultures à examiner à la fois, on peut très bien tracer de 5 à 10 traits sur le même couvre-objet. On peut aussi conserver la préparation pour des examens ultérieurs. Il y a des levures qui commencent la sporulation au bout de 10-15 heures, d'autres seulement au bout de 4-5 jours ou encore plus tard. Les températures les plus usitées pour l'analyse pratique des levures sont 19° C et 25° C.

Pour *contrôler pratiquement* d'une manière suivie et quotidienne la levure, eu égard à l'infection par la levure sauvage, on opère ainsi, suivant Jörgensen (Les Microorganismes de la fermentation, traduction française) :

A la fin de la fermentation principale, on prend dans la cuve avec un flacon stérilisé un petit échantillon du liquide en fermentation, on laisse reposer le flacon pendant quelques heures, jusqu'à ce que la levure se soit déposée au fond, et ensuite on transporte cette levure sur un bloc de plâtre qu'on introduit dans un thermostat à 25 ou 15° C.

Les expériences de Holm et de Pasteur ont démontré qu'on arrivait par cette méthode à déceler avec certitude même une très petite addition de levure sauvage, environ $\frac{1}{200}$ de la masse entière de la levure.

L'étude de la formation des voiles sert également à caractériser les levures, comme nous l'avons déjà dit. Les divers facteurs à observer sont :

1° Les limites de températures auxquelles cette formation a encore lieu.

2° Le temps qui s'écoule avant qu'elle se produise.

3° L'aspect microscopique des végétations.

M. Van Laer a simplifié la méthode de Hansen qui demande beaucoup d'attention et de soins. Il supprime la chambre de Boettcher à cause de sa fragilité. Il dépose sur un porte-objet une goutte de moût gélatiné renfermant une quantité suffisante de cellules de levure. Après que cette goutte s'est en partie solidifiée, il la couvre d'une plaque carrée de *mica*, dont un des coins est relevée. Il laisse la préparation dans une chambre humide jusqu'à solidification complète de la gélatine, puis marque comme à l'ordinaire les colonies, sans avoir à craindre de briser la préparation. De cette manière les cellules ne se déplacent pas et n'arrivent pas à se recouvrir l'une l'autre. La plaque de mica est enlevée en se servant du coin relevé. Elle n'adhère d'ailleurs

pas fortement. Les colonies isolées sont jetées dans une fiole de Pasteur contenant du moût de bière. Au lieu de celle-ci, l'auteur se sert de ballons à col droit muni d'un renflement pour arrêter la mousse. En suivant au polarimètre les progrès de la fermentation, l'auteur a pu classer des levures qui, par simple observation du temps nécessaire à la formation des axospores, n'offraient aucune différence.

Étuve de Schribaux.

426. Pour la culture des microorganismes il faut une température régulière d'environ 35° C. On emploie dans ce but l'étuve de Schribaux, chauffée par le gaz dont les produits de la combustion passent dans des tubes verticaux en laiton (fig. 216). Cette étuve est munie du régulateur à gaz de Roux R, alimenté par le t b T.

427. *Régulateur Roux.* — Ce régulateur est formé de deux barres métalliques, l'une en acier, l'autre en zinc, soudées ensemble sur toute leur longueur, et recourbées ensuite en forme d'U. Le métal le plus dilatable, le zinc, étant en dehors, toute élévation dans la température tendra à rapprocher les branches, et tout abaissement les écartera l'une de l'autre.

Fixer une des branches et ajuster à l'autre une tige qui suivra ses mouvements et ira ouvrir ou obstruer l'arrivée du gaz se rendant à l'étuve, tel est le principe du réglage.

Le régulateur est donc placé verticalement près d'une paroi

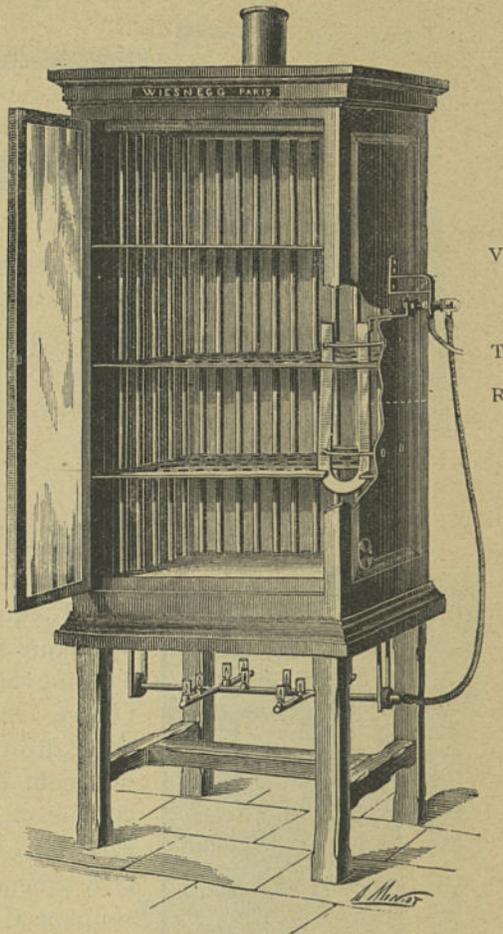


Fig. 216. — Étuve de Schribaux.

atérale, l'ouverture de l'U vers le haut. Une des branches, la plus

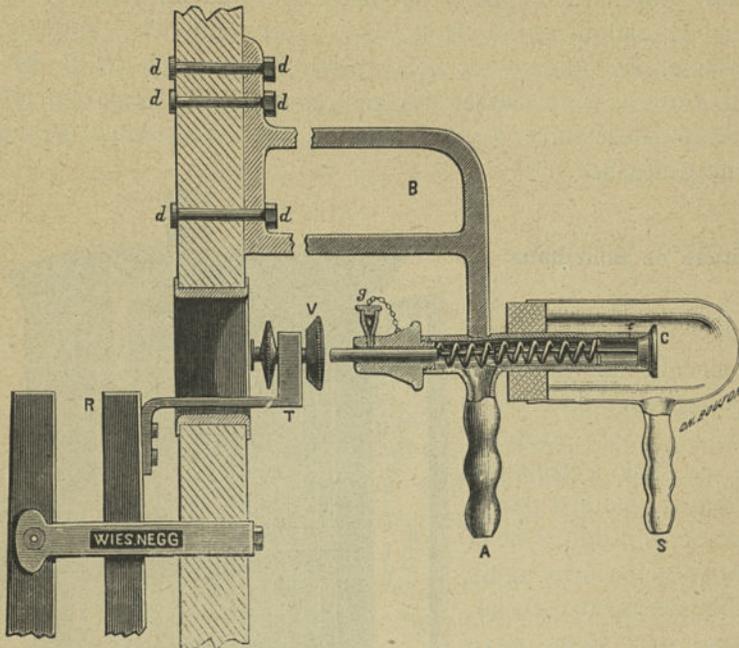


Fig. 217.

éloignée de la paroi, est fixée à l'étuve ; l'autre R, qui seule peut se déplacer, porte une tige horizontale T, qui sort de l'étuve par une ouverture suffisante pour qu'elle puisse s'y mouvoir librement. A sa sortie de l'étuve, cette tige est recourbée à angle droit et traversée par une vis V, qui peut être fixée à un point quelconque de sa course au moyen d'un écrou. L'extrémité de cette vis peut être amenée au contact d'une petite soupape C, qui commande l'écoulement du gaz.

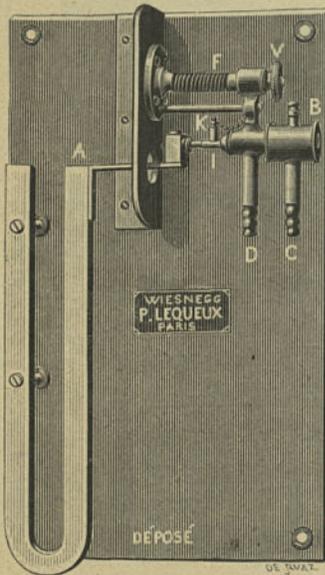


Fig. 218.

Cette soupape est formée par un obturateur conique en laiton, fixé sur une tige qui traverse le tube d'arrivée du gaz. Un petit ressort placé dans ce tube même, maintient l'orifice de sortie fermé tant qu'on

n'appuie pas sur l'extrémité de la tige de l'obturateur, mais si celle-ci est légèrement repoussée, le tube est ouvert, le gaz se répand dans la petite chambre en verre et se rend au brûleur par la tubulure S. Une petite ouverture pratiquée dans l'obturateur laisse passer assez de gaz pour maintenir les flammes du brûleur en veilleuse quand la soupape est fermée.

Chambre-étuve. — Dans les distilleries on constitue facilement une étuve fixe en faisant une petite chambre en maçonnerie qu'on chauffe par le gaz, par un thermosiphon ou par l'air chaud.

Chauffage au bain-marie. — Pour le chauffage au bain-marie, on emploie dans tous les laboratoires de microbiologie possédant le gaz, le régulateur bi-métallique droit de M. Roux (fig. 219), dans lequel le gaz entrant en K sort en L.

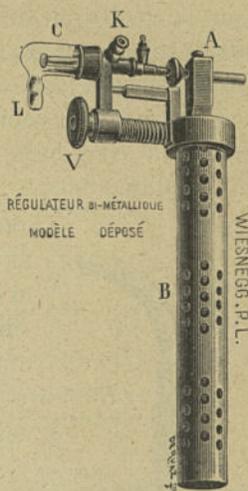


Fig. 219.

Propagation de la levure.

428. Une fois que, par les méthodes de sélectionnement que nous venons d'indiquer, on a isolé une cellule de levure, il faut

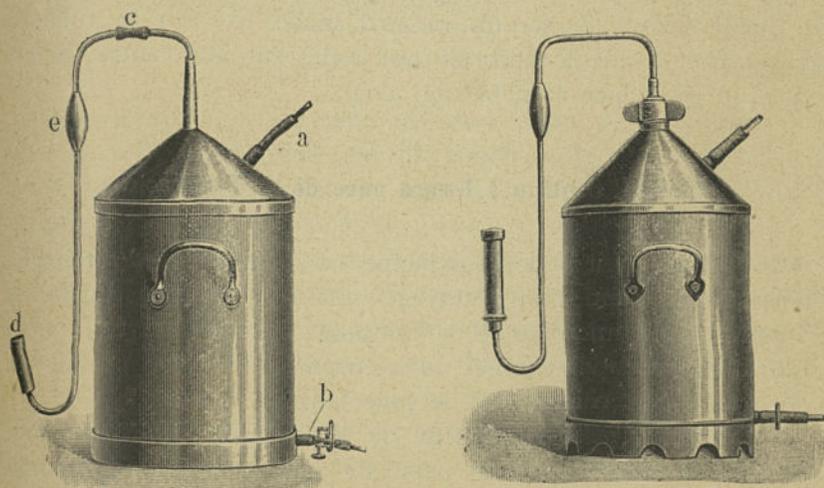


Fig. 220.

ensuite multiplier cette cellule de façon à produire assez de levure pour ensemençer une cuve. Dans ce but on se sert des appareils dits de propagation.

S'il ne s'agit que de produire une petite quantité de levure pour l'expédition au dehors, le plus simple est de faire la propagation directement dans un grand bidon analogue au ballon Pasteur, mais qui soit en métal au lieu d'être en verre.

La figure 220 représente le bidon employé au laboratoire de Hansen à Carlsberg. C'est un vase cylindrique de 10 litres, en cuivre étamé fermé par une partie conique sur laquelle est soudé ou vissé le tube de dégagement de l'acide carbonique c, d. e. En a, se trouve la tubulure d'ensemencement fermée par un bout de caoutchouc et un bouchon de verre et, à la partie inférieure du bidon, la tubulure b, avec pince à vis, pour la vidange du liquide et de la levure.

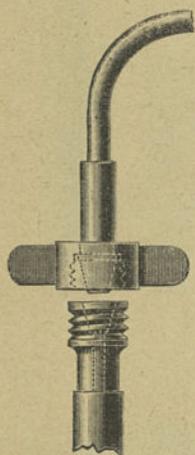


Fig. 221.

Après avoir introduit dans ce bidon, un certain volume de moût clair, on stérilise par ébullition ou par chauffage à l'autoclave. Si on fait bouillir on enlève d'abord le filtre d'amiante ou de coton d, qu'on remet en place quand l'ébullition est terminée. Après refroidissement, on ensemece par a.

Dans le nouveau modèle de bidon de Carlsberg, la partie conique porte un raccord femelle sur lequel vient s'adapter un raccord mâle, fixé sur le tube de dégagement: les deux raccords sont rodés l'un sur l'autre, ce qui donne un joint bien étanche (fig. 221).

Appareil continu à levure pure de A. Fernbach.

429. Cet appareil a pour principe la suppression de tous les robinets qui, étant d'un nettoyage très difficile, constituent de véritables nids à microbes. Il se compose (fig. 222) de trois vases cylindriques en cuivre étamés intérieurement, le vase producteur de levure A, le stérilisateur B, le collecteur de levure C.

Au fond du vase producteur de levure est placée une boîte plate Z, dont le couvercle est percé de petits trous, et dont l'intérieur communique avec l'air extérieur par un tube N, rattaché en

E à un filtre à coton N [2]. Deux autres tubes pénètrent dans ces vases, l'un allant jusqu'au fond dans la cuvette G, le tube à levure P, l'autre jusqu'à une petite distance du fond, le tube à vin H.

Tous ces tubes sont portés par le couvercle qui présente, en outre, une tubulure t, pour ensemençer la levure et un ajutage permettant de faire ruisseler l'eau le long des parois. Ce vase porte également à droite un thermomètre, à gauche un tube de niveau L, et une tubulure de prise d'essai S.

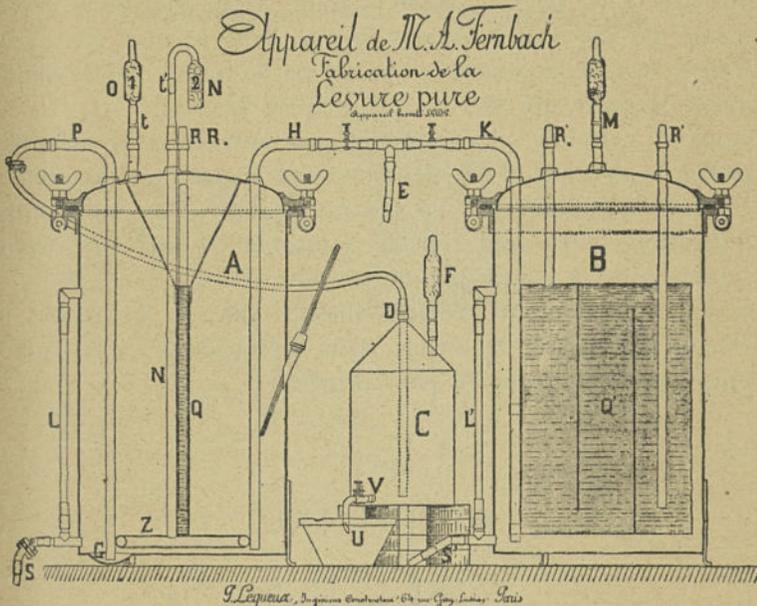


Fig. 222.

Mode d'emploi. — Le tube inférieur s du niveau étant muni d'un caoutchouc et fermé par un bouchon de verre, on verse du moût bouillant dans les vases A et B; on place les couvercles et on serre fortement à la main les pincés à vis servant à les fixer. On réunit les tubes P et D et les tubes H et K, à l'aide de tuyaux en caoutchouc; tous les autres orifices sont bouchés par des tubes de verre. On fait passer le courant de vapeur dans le vase collecteur C par le tuyau V et on adapte à ce caoutchouc le tube en biseau U. On enlève la pince qui est sur le tube F. On adapte ensuite le tube de vapeur en E et on fait passer la vapeur; au bout de quelques instants on met une pince sur le caoutchouc du côté de l'orifice H.

La vapeur passe alors par K et amène peu à peu le liquide de B à l'ébullition. Quand la vapeur sort depuis quelques minutes en jet continu par M, on cesse de la faire passer en mettant aussitôt une pince sur le caoutchouc K et un tube à coton sur M, en employant les mêmes précautions que pour le tube à coton de l'orifice F.

On enlève le tube qui amène la vapeur en E, et on la remplace par un bouchon de verre flambé dans la flamme d'une lampe à alcool. On fait passer la vapeur par N et lorsqu'elle sort en jet continu par O, on serre le caoutchouc de N par une pince arrêtant la vapeur ; on place aussitôt sur O un tube à coton et on remplace en N le tube amenant la vapeur par le tube à coton recourbé. On enlève la pince qui serre le caoutchouc de N.

L'appareil refroidi, on ensemence, par l'orifice O, et aussitôt on fait passer le courant d'air pendant une heure, en adaptant au tube O, un caoutchouc mis en communication avec une trompe à eau, opération qu'on peut répéter à intervalles réguliers. On suit la production de la levure par la tubulure d'essai S.

On siphonne le moût fermenté aussitôt que la levure est bien reposée, on fait passer la levure dans le collecteur C, à l'aide de la trompe et on la recueille par l'orifice V.

CHAPITRE XXII

Fermentations secondaires ou parasitaires

430. On appelle fermentations secondaires celles qui se produisent à côté de la fermentation alcoolique. Elles sont occasionnées par des microparasites de formes très variables qu'on n'a pu ranger jusqu'ici dans une classification méthodique à cause de leur polymorphisme.

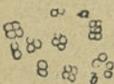


Fig. 223.

Schizomycètes (grec Skizein = couper). — On appelle ainsi des microorganismes qui se reproduisent en se coupant. Quand la cellule a la forme d'une boule, on l'appelle *coccus* ou *coque*. Les coques peuvent être réunies par deux (*diplocoques* ou *diades*), par quatre (*meriste* ou *merismopedie*, *diplocoques* ou *tétrades*), en cubes (*sarcines*), en amas

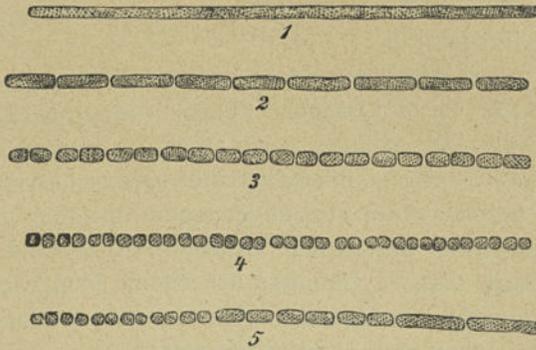


Fig. 224.



Fig. 225. — Formes de bactéries.

a, microorganismes sphériques ou *coques* dont on distingue les *microcoques* (les plus petites) et les *macrocoques* (celles un peu plus grosses); b, coques assemblées par deux (*diplocoques* ou *diades*), par quatre (*pediocoques* ou *tétrades*, *mériste* ou *mérismopædie*), en accumulations formant des cubes (*sarcines*) ou en chapelets (*streptocoques*); d, coques assemblées en masses d'aspect gélatineux dites *zoogléés*; e, bactéries et bacilles. Par une transition graduelle, les formes de coques se changent en celles des bâtonnets, bactéries et bacilles, qui peuvent se présenter en différentes grandeurs, longueurs et grosseurs (voir la fig. 224); f, types de clostridium ou formes en fuseau; g, *faux-fil*, *leptothrix* ou fil, *cladothrix* ou soudure de 2 fils donnant l'aspect d'un fil ramifié; h, bacilles ondulés ou *vibrions*, bacilles en forme de tire-bouchon: *spirilles* et *spirochètes*, bacilles en forme de fils tressés ou *spirulines*; i, formes d'involution; k, bacilles et spirilles avec prolongements en forme de cils; l, types de bactéries formant des spores; m, germination d'une spore de bactérie.

irréguliers rappelant la disposition des grains de raisin sur une grappe (*staphylocoques*).

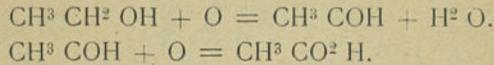
Quand la forme ordinaire de la cellule est allongée on l'appelle *bacillus* ou *bacille*. Le mot bactérie s'emploie quelquefois pour désigner les bâtonnets ou bacilles courts.

Hyphomycètes. — Les hyphomycètes présentent des organes qu'on appelle *hyphes*, dont l'enchevêtrement produit un *mycélium*. Ces microorganismes constituent les moisissures dont nous avons longuement parlé dans le Chapitre précédent. Nous allons maintenant étudier quelques fermentations produites par des microparasites qu'on rencontre parfois en distillerie.

Fermentation acétique. — Nous avons vu qu'il se produit dans toutes les fermentations alcooliques une petite quantité d'acide acétique, mais que la majeure partie de cet acide est produite par des ferments spéciaux déterminant une fermentation spéciale, dite acétique.

Ce fut Pasteur qui démontra que la fermentation acétique est produite par un micro-organisme qu'il appella *Mycoderma aceti*. Hansen prouva que le ferment acétique de Pasteur se composait de plusieurs bactéries diverses.

L'oxydation de l'alcool en acide acétique peut être considérée comme se faisant en deux phases distinctes en passant par l'état d'aldéhyde.



Le *Bacterium aceti* est de tous les ferments acétiques le plus commun et le plus actif; il forme à la surface des liquides une pellicule grisâtre. Examinées au microscope, ces bactéries présentent généralement

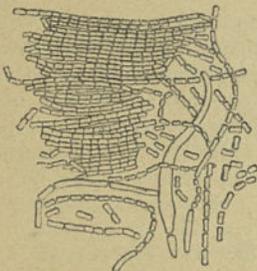


Fig. 225.
Bactérie acétique.

la forme de petits bâtonnets très courts (fig. 225), légèrement étranglés vers le milieu, d'un diamètre un peu variable d'environ $1,5 \mu$ (1) et réunis en échalets. La longueur de l'article est un peu plus du double du diamètre. Ces articles se multiplient en s'étranglant de plus en plus et donnent ainsi deux individus ou globules séparés.

Pour obtenir le *Bacterium aceti* on aban-

(1) La lettre grecque μ (mu), représente ici un millième de millimètre.

donne au contact de l'air un liquide pauvre en matières organiques, renfermant à la fois de l'alcool et de l'acide : par exemple 1 1/2 à 2 % d'acide et à peu près autant d'alcool.

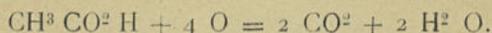
On emploie souvent un mélange de 100 gr. d'eau de levure, 1 ou 2 gr. d'acide acétique et 3 à 4 gr. d'alcool.

Les bactéries acétiques présentent de grandes ressemblances avec les levures alcooliques ; il leur faut comme elles, pour leur nutrition, des matières azotées et des matières minérales. On peut très facilement les développer dans une solution de cendres de ces ferments additionnée de sels ammoniacaux ; il se forme un voile léger à la surface du liquide nourricier. Si on soutire celui-ci et qu'on le remplace par une solution alcoolique à 10 %, il se déclare aussitôt, avec le concours de l'oxygène, une fermentation très énergique. Cette fermentation se ralentit au bout de quelques jours, par suite de l'accroissement de l'acidité du liquide, mais elle redevient énergique à nouveau si l'on soutire l'acide et le remplace par de nouvel alcool sans déranger le voile bactérien.

Le développement des bactéries acétiques se fait le plus énergiquement dans un milieu renfermant une certaine quantité d'acide acétique.

L'alcool est le véritable aliment du *Bacterium aceti* ; mais il peut aussi agir sur d'autres substances notamment sur le dextrose et sur la mannite. En agissant sur le dextrose ou glucose, il donne l'acide gluconique ; avec la mannite il donne surtout du lévulose. Le *Bacterium aceti* permet donc de transformer le dextrose en lévulose ; *en effet, en hydrogénant le dextrose on obtient de la mannite* et celle-ci donne par le *Bacterium aceti* du levulose.

Le ferment acétique n'augmente pas de poids pendant la fermentation ; il diminue, au contraire, de poids en cédant les matières azotées solubles qu'il renferme. Quand il s'est ainsi appauvri jusqu'à une certaine limite, il se produit un phénomène nouveau : il absorbe alors l'oxygène avec tant d'énergie, qu'il oxyde non seulement l'alcool encore en présence, mais brûle même l'acide acétique qu'il transforme directement en acide carbonique et en eau.



Le même phénomène se produit quand l'alcool vient à manquer. Ces faits expliquent comment un vinaigre peut, dans certaines circonstances, s'affaiblir par la conservation.

La température la plus favorable à la fermentation acétique est située entre 18 et 35° c. : les bactéries acétiques meurent à 50° c.

La fermentation acétique doit être soigneusement évitée dans les distilleries. Elle se produit surtout à la fin de la fermentation, quand on laisse séjourner le vin avant de le distiller; elle peut aussi se produire pendant la fermentation, par suite du manque de propreté et d'une température trop élevée.

Le *Bacillus éthacéticus* découvert par Percy Frankland fait fermenter énergiquement plusieurs substances, notamment la mannite, en donnant principalement de l'alcool éthylique et de l'acide acétique.

Fermentation lactique

431. La fermentation lactique est également produite par divers microorganismes, dont le plus connu et le plus répandu est le *Bacterium lactis* de Pasteur ou *Bacillus acidi lactici* de Zopf.



Fig. 226.

Cette bactérie lactique se compose de petits bâtonnets très courts et très minces, légèrement étranglés en leur milieu et ressemblant à des haltères. Elles possèdent un mouvement vibratoire particulier (fig. 226).

Comme tous les microbes du genre *Bacterium*, ce sont des cellules isolées ou réunies par 2, 3 ou 4 tout au plus. Leur longueur est à peu près de 2 μ .

Hüppe a découvert un autre ferment lactique qui se distingue surtout de celui de Pasteur par son immobilité et par sa propriété de se reproduire par sporulation. Ce

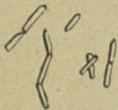


Fig. 227.

sont des bâtonnets courts, assez gros, ayant généralement une longueur égale à 1 fois 1/2 leur diamètre et groupés par deux, rarement 4. Ces bactéries donnent des spores à leurs extrémités. Elles décomposent le lactose et

autres sucres en produisant de l'acide lactique avec dégagement d'acide carbonique; la présence de l'oxygène semble favoriser leur action.

Lindner a isolé un autre ferment, le *Pediococcus acidi lactici* (pediocoque de l'acide lactique) qui se développe très bien dans une infusion de malt d'orge ou de malt de seigle abandonnée à 40° c.; il se développe si rapidement qu'il étouffe tous les autres ferments.

On a dans ces derniers temps découvert un grand nombre d'autres ferments lactiques, notamment ceux dont on se sert aujourd'hui pour développer la fermentation lactique, dans la crème avant de la soumettre au barattage.

On s'occupe depuis longtemps de la culture de ferments lactiques purs pour cet usage, et l'on a constaté l'influence du choix du ferment sur l'arome, le goût et la conservation du beurre obtenu.

Le *Bacterium coli* commune, le *Micrococcus prodigiosus*, les Bactéries du pus, produisent également la fermentation lactique.

Le Bacille du vin et de la bière tournés, décrit par Pasteur, est également un ferment lactique. Van Laer l'a isolé et lui a donné le nom de *Saccharobacillus Pastorianus*. Au microscope il ne se distingue pas du ferment lactique de distillerie. Quand l'acidification se produit, il se sépare du moût une matière azotée qui, mélangée aux bacilles, occasionne un trouble sous forme d'ondes soyeuses se mouvant dans le liquide. Ce *saccharobacille* attaque le maltose, le saccharose et le dextrose. Outre l'acide lactique il produit de l'alcool, de l'acide acétique et de l'acide formique.

Les bactéries lactiques et leurs germes se trouvent répandues partout; une solution sucrée contenant des matières albuminoïdes et des matières minérales en proportions suffisantes, entre rapidement en fermentation lactique quand on l'abandonne au contact de l'air.

Toutes les substances en putréfaction constituent un excellent terrain pour la culture des bactéries lactiques : le fromage pourri convient parfaitement pour introduire la fermentation lactique dans les liquides. La fermentation lactique se rencontre surtout dans le lait, dans la choucroute, dans les eaux d'amidonneries, la jusée des tanneurs, l'extrait de riz fermenté, etc. Elle se produit aussi très souvent dans les moûts de distillerie.

Dans les distilleries de grains et de pommes de terre on l'introduit intentionnellement dans les moûts à levains, où elle produit l'acidité nécessaire pour protéger la levure contre les organismes plus dangereux par eux-mêmes et par les produits qu'ils engendrent, comme le ferment butyrique. En dehors de cette acidification, généralement encore considérée comme un *mal nécessaire*, la présence d'un grand nombre de bactéries dans un moût provient toujours d'un manque de propreté.

Les différentes sources de propagation du ferment lactique sont :

1^o L'atmosphère. — Dans une salle où l'on fait fermenter des

moûts plus ou moins souillés par des ferments lactiques, l'air, quand il n'est pas suffisamment renouvelé, est toujours chargé de bactéries lactiques.

2° La surface des grains employés à la saccharification est toujours recouverte de bactéries lactiques qui sont contenues principalement dans la poussière. Il est donc indispensable de débarrasser complètement les grains de leur poussière; il faudrait même les laver à fond pour pouvoir enlever tous les organismes adhérents à leur surface.

3° Les appareils. — Toutes les petites portions de moût restées adhérentes produisent des myriades de bactéries nouvelles, qui, à leur tour,ensemencent les moûts des opérations suivantes.

D'après A. Mayer, la température la plus favorable à la fermentation lactique est située entre 30 à 40° c.; à 50° c., elle est déjà fortement affaiblie et plus faible qu'à 22° c.

Kayser, en opérant sur un grand nombre de ferments, a trouvé que la température optima peut être comprise entre 30 et 35°.

Action de la chaleur. — Kayser a trouvé que la résistance des bactéries lactiques à la chaleur varie beaucoup avec l'espèce; les plus résistantes sont celles qui donnent un maximum d'acidité; quelques-unes sont facilement tuées à 60° c., mais d'autres résistent à plus de 65° c.

Cette résistance dépend, et de l'acidité du milieu dans lequel les ferments ont été chauffés, et de l'acidité ou de l'alcalinité plus ou moins grande du lait qui a servi à l'expérience. Ni la dessiccation, ni la lumière ne modifient les premières propriétés des bactéries lactiques.

Réaction du milieu. — Les principaux produits de la fermentation lactique sont l'acide lactique et l'acide acétique; il se forme aussi des traces d'acide formique, d'acétone et d'alcool éthylique. La proportion d'acide lactique est d'autant plus forte que les matières azotées du milieu sont plus assimilables. Le maltose donne plus d'acides volatils que le lactose.

En étudiant l'influence des acides et des alcools sur la fermentation, Hayduck est arrivé à conclure qu'au commencement de la fermentation le ferment se multiplie beaucoup, sans donner lieu à la production d'acide.

Richet a remarqué que dans certaines fermentations lactiques, on pouvait constater vers le troisième jour une diminution dans l'acidité totale. D'après Kayser, il y a d'ordinaire un moment où la combustion de l'acide formé commence, et ce moment est celui

où le ferment commence à se sentir *mal à l'aise* dans le milieu de culture. Pour quelques ferments, la gêne commence dès l'origine ; ils ne peuvent supporter que la présence de faibles quantités d'acides ; ils élèvent donc très peu l'acidité du milieu. Les autres l'élèvent beaucoup, mais par là ils se créent à eux-mêmes des conditions défavorables, et dès ce moment, ils brûlent ou détruisent l'acide formé. L'acide fixe diminue, tandis que l'acide volatil augmente ; finalement, il ne reste plus d'acidité fixe ; tout le sucre semble transformé en acide volatil (acide acétique ($\text{CH}^3 \text{CO}^2 \text{H}$), ce qui a lieu dans les cultures en surface (Kayser).

Influence de l'oxygène. — Tandis que d'anciennes expériences d'Alexandre Müller semblaient démontrer que l'oxygène contrariait le développement des bactéries lactiques, Hayduck trouva que l'influence de ce corps était nulle. De son côté M. Duclaux prouva que le ferment lactique ne peut se développer dans une atmosphère d'acide carbonique, qu'il épuise rapidement l'oxygène des liquides où il fermente, et qu'il est par conséquent aérobie. D'après Ad. Mayer, la fermentation lactique peut, il est vrai, se produire sans oxygène, mais ce gaz exerce une influence très favorable sur la fermentation lactique. Cette influence est immédiate et ne se borne pas à favoriser la faculté reproductrice, et par suite, l'activité transformatrice, comme cela a lieu pour les cellules de saccharomycès, dont l'activité fermentative est, du reste, plutôt affaiblie par la présence de l'oxygène. Ce gaz favorise l'action du ferment lactique dans ses fonctions d'ailleurs anaérobies : cela ressort du fait, souvent observé, que l'influence de l'oxygène ne s'exerce pas uniquement dans la première phase de la fermentation, lorsque celle-ci est provoquée par une quantité minime de ferments, mais se continue dans les phases suivantes (Zeitschr. f. Spiritusindustrie, 1891, n° 5). La quantité d'oxygène absorbée est toutefois trop faible pour pouvoir être exprimée dans l'équation de la fermentation lactique.

D'après les recherches de Hüppe, la présence de l'air est nécessaire à la fermentation lactique ; Richet a également constaté que l'oxygène peut l'activer beaucoup.

Pour les ferments lactiques de distillerie, l'accès de l'air augmente généralement la production d'acides volatils, surtout d'acide acétique ; au contraire, les cultures en profondeur peuvent fournir jusqu'à 95 % du sucre disparu (Kayser).

Influence de la matière azotée. — La peptone est le meilleur aliment des ferments lactiques, et ils peuvent même fabriquer de

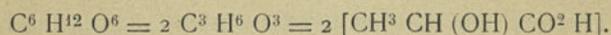
l'acide lactique aux dépens de la peptone. L'introduction de ce corps dans un milieu de culture provoque une augmentation notable de l'acide lactique, et, fait remarquable, cette augmentation est bien supérieure à celle que provoquerait la transformation en acide lactique de la peptone introduite. La richesse des ferments lactiques en azote peut atteindre 15 %, c'est-à-dire une teneur en azote voisine de celle de la matière albuminoïde. Leur richesse en azote est plus grande pour un ferment cultivé en surface.

Alimentation hydrocarbonée. — Chaque ferment lactique semble préférer certains sucres à d'autres. Un même ferment peut donner lieu à divers acides lactiques avec un même sucre, aussi bien qu'avec des sucres différents, ou le même acide (- I +) avec divers sucres.

Nous avons vu que les sucres en C⁵ ou pentoses ne conviennent pas à la vie ferment des saccharomycètes et peuvent tout au plus servir comme aliments plastiques. Il en est autrement du ferment lactique qui peut transformer ces sucres en acide lactique.

Suivant Ad. Mayer, la fermentation lactique produite par le *Bacterium lactis* de Pasteur se produirait sans dégagement de CO² ; et ce ferment ne peut vivre en l'absence d'oxygène. Kayser a également constaté un dégagement de CO².

On représente généralement la fermentation lactique des hexoses par la formule



Les essais de Kayser démontrent que le phénomène n'a pas une simplicité aussi grande que l'indique la formule. Il semble établi que la transformation du sucre en acide lactique ne puisse se faire que sous l'influence de la vie et du développement d'un être vivant, mais il est possible que, comme Buchner l'a démontré pour la fermentation alcoolique, la simple action d'une zymase sécrétée par les bactéries suffise à produire la fermentation lactique.

Influence des acides sur la fermentation lactique. — Les acides libres ralentissent la fermentation lactique comme la fermentation alcoolique. L'acide lactique lui-même, à la dose de 0,5 % d'après Hayduck, ralentit déjà la fermentation; de plus fortes doses ralentissent la production de nouvel acide dans les proportions suivantes :

Teneur	Augmentation de l'acide lactique par litres en 24 heures.
0,0	9,99
0,5	3,83
1,0	0,99
1,5	0,45

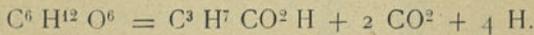
Quand on veut produire une grande quantité d'acide dans un moût, il faut neutraliser l'acide au fur et à mesure de sa production par le carbonate de calcium ou de sodium.

Les acides minéraux agissent beaucoup plus fortement sur le ferment lactique. D'après Hayduck, $\frac{3}{10.000}$ ralentissent la fermentation; avec $\frac{4}{10.000}$ il ne se produit presque plus de traces d'acide. C'est la dose qu'il faut employer quand on veut arrêter complètement la fermentation lactique.

Fermentations butyriques et butyliques

432. La fermentation butyrique consiste dans la décomposition du sucre en acide butyrique comme produit principal. On a remarqué que dans toute fermentation butyrique il se produit un dégagement d'acide carbonique et d'hydrogène.

Comme pour la fermentation lactique et la fermentation alcoolique produite directement par la levure, il est impossible d'exprimer ce phénomène par une équation exacte; néanmoins on le représente généralement par la formule :



L'amidon, l'acide lactique et divers autres acides subissent également la fermentation butyrique; mais comme celle-ci ne peut se faire qu'en milieu neutre, ce n'est qu'à l'état de sels neutres que les acides peuvent subir cette fermentation.

De même que la fermentation lactique, la fermentation butyrique peut être produite par divers microbes. Les produits de la fermentation varient considérablement suivant le ferment employé; certains micro-organismes produisent à la fois la ferment-

tation butyrique et butylique, c'est-à-dire de l'acide butyrique et de l'alcool butylique.

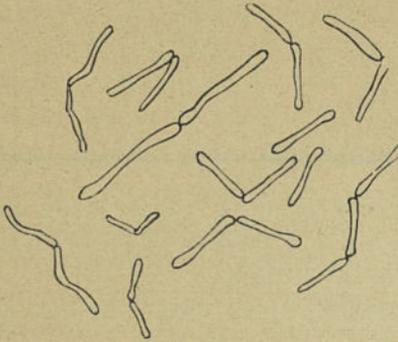


Fig. 228. — Ferment butyrique d'après Pasteur.

La première fermentation butyrique qui ait été étudiée est celle du lactate de calcium ; l'agent de cette fermentation a été décrit par Pasteur sous le nom de *Bacillus butylicus* (fig. 228).

Ce bacille se présente sous forme de petites baguettes cylindriques arrondies à leurs extrémités, ordinairement droites. Ces organismes s'avancent en glissant, leur corps restant rigide ou éprouvant de légères ondulations. Ils pirouettent, se balancent ou font trembler leurs extrémités ; souvent ils sont recourbés. Ils se reproduisent par scissiparité, c'est-à-dire en se coupant en deux.

Ils pirouettent, se balancent ou font trembler leurs extrémités.

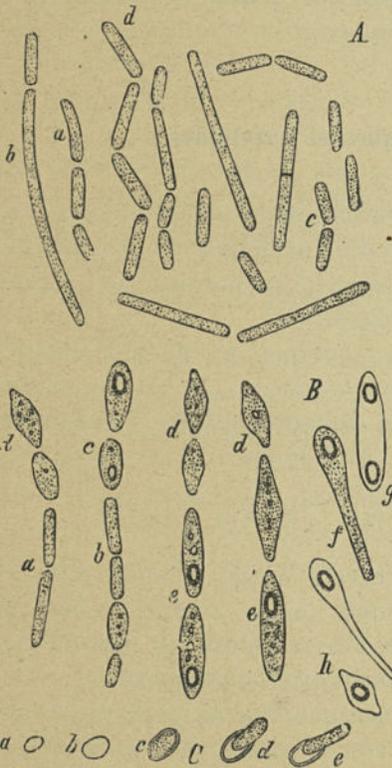


Fig. 229. — *Clostridium butyricum* d'après Prazmowski.

Ce ferment peut vivre sans oxygène et est même parfois tué par ce gaz. Quand on examine au microscope une goutte de liquide étendue sous le couvre-objet, les bacilles placés au centre de la lamelle sont seuls doués de mouvement, les autres étant tués par l'air.

Prazmowski a étudié tout spécialement et décrit en détail un ferment butyrique qu'il a désigné sous le nom de *Clostridium butyricum* et que l'on considère généralement comme identique au *Bacillus butylicus* de Pasteur. Cet auteur a donné une description minutieuse de la reproduction par spores découverte par Pasteur.

Le *Clostridium butyricum* se

présente sous la forme de filaments et de bâtonnets courts et longs, droits ou légèrement courbés. Avant la sporulation, les cellules se gonflent plus ou moins par suite de l'accumulation de protoplasme. Quand ce gonflement se produit dans la partie équatoriale, ce qui est généralement le cas pour les bâtonnets courts, la cellule prend la forme d'un fuseau, d'un citron ou d'un ellipsoïde; s'il se produit au contraire à l'extrémité, elle prend des formes de massue ou de têtard très bizarres. Il n'y a généralement qu'une spore, rarement deux. Dans ce dernier cas, il y en a une à chaque extrémité: dans le premier, la spore est tantôt polaire, tantôt équatoriale (au centre).

Les spores ont une forme ellipsoïdale. Lors de la germination, la spore se gonfle, la séparation entre la membrane intérieure ou endospore remplie de protoplasme et l'enveloppe extérieure ou exospore apparaît distinctement; l'exospore solide se rompt à l'un de ses pôles, et l'endospore sort sous forme d'un bâtonnet court qui s'allonge.

Le *Clostridium butyricum* se reproduit le mieux à 40° c. Il est très sensible aux températures élevées; déjà à 60° il est tué. Par contre, ses spores peuvent supporter une température de 90° durant plusieurs heures; elles peuvent même, d'après Fitz, supporter la température d'ébullition pendant un espace de temps variable suivant leur état et suivant la nature du milieu et qui peut atteindre de 3 à 20 minutes.

Nous avons dit que le ferment butyrique décrit par Pasteur et Prazmowski opère à l'abri de l'oxygène et est par conséquent anaérobie. Il existe aussi des espèces qui produisent la fermentation butyrique en présence l'oxygène, c'est-à-dire qui sont aérobies.

Fitz a le premier décrit un ferment butyrique aérobie. C'est un bacille cylindrique court, animé d'un mouvement assez modéré, ne formant pas de spores et n'attaquant ni la fécule ni la cellulose.

Hueppe a isolé du lait incomplètement stérilisé un ferment butyrique aérobie qui transforme les lactates en butyrates comme celui décrit par Pasteur et Prazmowski, dont il possède du reste toutes les propriétés.

Gruber a décrit trois espèces de ferments butyriques qui toutes trois décomposent les matières hydrocarbonées en acide butyrique et alcool butylique. La première forme des bâtonnets droits ou légèrement recourbés qui, lors de la sporulation, prennent la forme de fuseau et de baril; elle est identique avec celle décrite

par Prazmowski. La seconde présente des formes plus grêles et toujours fortement recourbées en forme de virgule ou de sigma. Quand elles se préparent à la sporulation, elles se renflent à l'une de leurs extrémités en forme de massue ou en forme de bâton. La spore se forme toujours à l'extrémité et à la partie la plus large du bâtonnet.

La troisième espèce est aérobie et ne forme ses spores qu'en présence de l'air, tandis que les deux premières sont anaérobies. Les bâtonnets végétatifs sont cylindriques et ont les mêmes dimensions que ceux des deux premières espèces; lors de la sporulation, ils se gonflent jusqu'à avoir deux et trois fois leur diamètre primitif et prennent des formes de fuseau ou de citron sans s'allonger notablement. Au centre du fuseau se forme la grosse spore. Ce qu'il y a de caractéristique chez cette espèce, c'est la production d'un nombre considérable de très petits fuseaux et de spores, principalement à l'intérieur des colonies qui se forment dans un milieu nutritif solide.

Beyerinck a publié en 1893 un travail très intéressant sur les ferments butyriques et butyliques. L'auteur croit que l'alcool butylique normal ($\text{CH}^3 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{OH}$), bouillant à 116° et soluble dans 11 parties d'eau, est produit par un grand nombre de bactéries. On le trouve en faible proportion dans la fermentation butyrique du dextrose, du saccharose, de la glycérine, de la mannite, occasionnée par le bacille que l'auteur appelle *Granulobacter saccharobutyricum* et qui est identique au *Bacillus butylicus* de Fitz. Le bacille qu'il a décrit sous le nom de *granulobacter butylicum* et qu'on n'a pas jusqu'ici distingué du « ferment butyrique » est grand producteur d'alcool butylique.

Beyerinck a trouvé que des moûts préparés avec certaines espèces de céréales maltées ou de malt d'orge, traitées par l'eau bouillante, étant abandonnés à la température de couvée, donnent une fermentation dans laquelle il se produit de l'alcool butylique, de l'acide carbonique et de l'hydrogène. D'autres échantillons au contraire donnent principalement de l'alcool butylique et très peu d'acide butyrique. Le traitement par l'eau bouillante a tué les bactéries lactiques, chassé l'air et gélatinisé l'amidon. Les spores du *B. Ethylicus* (b. du foin), des bactéries butyriques et butyliques supportent l'ébullition durant quelques secondes. A la partie supérieure du mout, au contact de l'air, il se forme un voile de *B. ethylicus* qui arrête complètement la pénétration de l'air, tandis que dans la profondeur des bactéries anaérobies

forment, par l'action des amylases qu'elles sécrètent, du maltose qu'elles font fermenter.

Les grains qui renferment du dextrose ou une proportion de maltose telle qu'il se produit beaucoup de dextrose, tels que le riz, le maïs, le sarrasin, la caroube, le sorgho, ne donnent pas une fermentation butylique intense, mais subissent la fermentation butyrique, le dextrose se transformant facilement en acide butyrique mais difficilement en alcool butylique.

Les bactéries butyriques et butyliques appartiennent au groupe appelé jusqu'ici *Amylobacter* ou *Clostridium butyricum*. L'auteur crée le nouveau genre *Granulobacter* auquel il reconnaît les caractères suivants : Bactéries avec vie anaérobie obligée ou temporaire qui, par anaérobiose complète, s'emplissent partiellement ou totalement de granulose et prennent alors la forme de clostridium. En présence de traces d'oxygène, il se forme des bâtonnets animés d'un mouvement rapide et qui se colorent en jaune par l'iode. Les spores qui se forment dans les clostridies résistent quelques minutes à 95-100°. Parmi les produits de la fermentation on trouve toujours CO², généralement aussi de l'H, mais pas de méthane ou formène (CH⁴).

L'auteur distingue les formes suivantes :

a) *Granulobacter butylicum* (peut-être identique au *B. amylobacter* I de Gruber). C'est le ferment butylique de beaucoup de farines de céréales ; il se présente très souvent sur l'orge mondé. Il donne avec le maltose de l'alcool butylique normal, de l'hydrogène, de l'acide carbonique, *pas d'acide butyrique*.

Il est anaérobie. Les spores sont grosses, les clostridies courtes et épaisses. Les colonies développées sur moût de malt gélatinisé sont laiteuses ; elles donnent à la gélatine la consistance mucilagineuse, mais ne la liquéfient pas.

b) *Granulobacter saccharobutyricum* (identique au *Bacillus butylicus* de Fitz), est le vrai ferment butyrique du *sucre*. Il se montre constamment dans les farines de toutes les céréales, dans la terre et quelquefois dans la vase ; il transforme le glucose et plus difficilement le maltose en acide butyrique de fermentation et en proportions variables, de l'alcool butylique normal, CO² et H. Il sécrète de la diastase. On ne peut pas toujours le distinguer du précédent ; ses clostridies sont généralement plus petites. Les colonies sont plus petites, moins tenaces et ne liquéfient pas la gélatine.

c) *Granulobacter lactobutyricum*. — Il se présente comme clos-

tridium anaérobie et transforme le lactate de calcium en butyrate en H et CO^2 , sans méthane ou formène CH^4 . Il se présente dans la fermentation spontanée du lactate de calcium. Il n'est pas approprié à la fermentation des hydrates de carbone. Il perd facilement son pouvoir fermentatif et se transforme alors en bâtonnets ressemblant au bacillus subtilis (bacille du foin); cette nouvelle forme est aérobie et elle transforme le lactate de calcium en carbonate sans production d'acide butyrique. Les clostridies sont courtes, les spores rondes comme celles du *Granulobacter butylicum*. Après plusieurs cultures, la fermentation en présence de l'air s'arrête complètement. La forme anaérobie ne produit non plus que quelques fermentations et disparaît dans les cultures successives.

d) *Granulobacter polymixa*. — Il se développe mieux avec libre accès d'air, mais il ne fermente qu'en présence de l'air limité et est par suite temporairement anaérobie. La forme aérobie consiste en bâtonnets mobiles, la forme fermentative en clostridies avec peu de granuloze et le plus souvent des spores. Cette fermentation ne produit que de la glycérine, un peu d'alcool butylique et ne donne ni H ni acide butyrique. La forme fermentative constitue la transition entre le granulobacter et les bacilles du foin.

Beyerinck croit que le *leptothrix buccalis* doit également être rangé dans le groupe granulobacter. Dans une classification naturelle, le granulobacter devra être rangé près des bacilles du foin et de la pomme de terre. Les *G. butylicum* et *saccharobutyricum* présentent plusieurs variétés, ce qui rend la distinction plus difficile. Le *G. butylicum* est le mieux caractérisé. Le *Gr. saccharobutyricum* est plus répandu et il étouffe facilement le *G. butylicum* en formant de l'acide butyrique aux dépens du glucose; il a aussi, par suite, une plus grande importance pratique.

La caroube que l'on recommande pour la préparation de l'acide butyrique contient les spores des deux espèces de bactéries; mais le *Gr. saccharobutyricum* produit de l'acide butyrique aux dépens du glucose et étouffe l'autre espèce.

On obtient une fermentation butylique spontanée, quand à de l'eau bouillant dans un vase de Bohême étroit on ajoute peu à peu de l'orge mondé réduit en farine et non tamisé, jusqu'à obtenir une pâte épaisse. Les dernières parties de farine ajoutées ne doivent être que quelques secondes exposées à 100° . On porte immédiatement le vase dans une enceinte à $35-37^{\circ}$. Au bout de 12 heures on aperçoit quelques bulles et après 36 heures on

perçoit l'odeur d'alcool butylique. Si on maintient exactement les limites de température indiquées, on obtient souvent une fermentation d'une pureté irréprochable dans laquelle les bactéries du foin sont étouffées.

Dans une vraie fermentation butylique, les bâtonnets du stade initial sont bientôt remplacés par des clostridies à spores, tandis que ces spores caractéristiques du dernier stade se montrent beaucoup plus tard dans la fermentation butyrique. Plus les clostridies sont courtes et épaisses et plus les spores sont grandes et longues, plus aussi la production de l'alcool butylique est intense. Des spores complètement rondes dénotent des bactéries butyliques affaiblies.

Tandis que la levure alcoolique ne peut fermenter que pendant un temps très court sans air, parce que la réserve d'oxygène contenue dans les cellules ne suffit qu'à la production de quelques générations, les bactéries butyliques, complètement anaérobies, sont arrêtées dans leur développement et leurs fonctions fermentatives par le contact de l'oxygène.

Le *granulobacter butylicum* ne produit pas d'acide avec le maltose; avec le glucose, il n'y a que les variétés les moins vigoureuses des bactéries citées qui produisent de l'acide butyrique; ces dernières variétés constituent le lien de transition avec le *G. saccharobutyricum*, dont, à d'autres points de vue, on ne peut pas les distinguer sûrement.

Le *Granulobacter saccharobutyricum* produit, avec le glucose et le maltose, peu d'alcool butylique et beaucoup d'acide butyrique.

D'après Beyerinck, tandis que la levure ne peut donner que 20 à 30 générations de levure sous la présence de l'oxygène, après quoi les cellules meurent, les *granulobacter* peuvent, en l'absence complète d'oxygène, se développer indéfiniment et produire la fermentation. L'auteur croit que le *granulobacter* peut utiliser l'oxygène combiné surtout en abondance dans le liquide, propriété que, contrairement à Pasteur, il dénie à la levure. Le *granulobacter* assure avoir, par son pouvoir réducteur, la conservation et la continuation de la force vitale, ce que d'autres organismes atteignent par respiration d'oxygène.

En général les anaérobies obligés ne fermentent qu'en présence de matières nutritives réductibles; le pouvoir réducteur leur est une propriété particulière.

Le *granulobacter butylicum* sécrète de la diastase. Cette

diastase en agissant sur l'amidon donne d'abord beaucoup de dextrine, bientôt remplacée par du maltose; elle est un corps homogène, tandis que la saccharification produite par la diastase du malt semble basée sur l'action commune de deux enzymes.

La diastase du malt et la diastase du granulobacter présentent la même température optima d'amylolyse à 60° c., toutes deux sont activées par une trace d'acide, fortement entravées dans leurs fonctions par un alcali, tandis que la ptyaline et la diastase pancréatique qui lui est identique, sont au contraire favorisées par l'alcali. Le maltose produit par la diastase du granulobacter est bien identique avec le maltose ordinaire, mais les levures de maltose la transforment en alcool et CO², tandis que les levures de glucose (*S. mycoderma*) et les levures de lactose ne l'assimilent et ne la fermentent pas.

Nous avons vu que, d'après Kayser, les ferments lactiques ne sécrètent pas de diastase.

Aérobiose et Anaérobiose

433. Il faut, d'après Beyerinck, distinguer deux formes d'anaérobiose : permanente ou temporaire.

a) *Anaérobiose facultative temporaire*. — Comme exemple on peut citer la levure alcoolique. Celle-ci ne produit, en l'absence complète de l'oxygène, que 20 à 30 générations de cellules et une fermentation aux dépens de l'oxygène emmagasiné; quand la provision d'oxygène est épuisée, et que l'accès de ce gaz est exclu, la reproduction et la fermentation cessent et après un temps assez long les cellules meurent. Il en est de même du *mucor racemosus*.

Pour démontrer cette propriété de la levure, l'auteur met dans un vase de Bohême étroit du moût porté à l'ébullition pour chasser l'air et le stériliser, puis il refroidit et met dans un vase une trace de levure et dans un autre une grande quantité de levure de bière. A 28° c., la fermentation s'arrête bientôt dans le premier vase, tandis que dans le deuxième, elle se continue aux dépens de la réserve de glycérine, jusqu'au bout.

b) *Anaérobiose facultative permanente*. — La fermentation lactique des distilleries offre un exemple de ce cas. — Des traces de ce fermentensemencées dans de la vinasse additionnée de sucre de canne et privée d'oxygène, peuvent faire fermenter complètement

de grandes quantités de ce liquide. Mais il faut remarquer que le ferment lactique est réducteur et qu'il ne croit pas en l'absence de corps réductibles. Il faudra donc ici également amener de l'oxygène et la fonction fermentative peut y contribuer. Voici comment l'auteur conçoit la relation qu'il y a entre la fonction réductrice et l'anaérobiose.

Anaérobiose temporaire : La fonction réductrice peut manquer, comme pour la levure, ou exister comme pour le *granulobacter polymixa*.

Anaérobiose facultative permanente. — Réduction énergique comme chez le ferment lactique de l'industrie.

Anaérobiose obligatoire : Réduction énergique comme chez le *granulobacter butylicum*.

Les fausses indications sur le prétendu pouvoir réducteur de la levure alcoolique doivent être attribuées aux bactéries lactiques fortement réductrices qui accompagnent toujours la levure de bière et la levure pressée. Par contre, toutes les formes à anaérobiose obligée doivent réduire, parce que l'anaérobiose permanente n'est possible qu'en présence de matières réductibles. Mais de vrais anaérobies croissent en présence de l'oxygène quand il n'y a pas de corps réductibles en présence.

Bacillus amylobacter. — Ce que Van Tieghem a décrit sous ce nom n'est autre chose que le ferment butyrique. Le nom d'*amylobacter* lui avait été donné parce qu'il bleussait par l'iode : mais cette réaction se produit avec un grand nombre d'espèces. On trouve encore dans quelques ouvrages cette indication que ce ferment fait fermenter la cellulose, ce qui le distinguerait des autres ferments butyriques. Cette opinion est erronée, car, ainsi que l'a prouvé Van Semus, pour que la cellulose fermente il faut la présence d'au moins deux bactéries ; Beyerinck croit que le *granulobacter polymixa* est un de ces microbes.

C'est au ferment butyrique désigné sous le nom de *B. amylobacter* que l'on attribue les réactions qui se passent dans les routoirs, c'est-à-dire dans les eaux où l'on fait rouir le lin et le

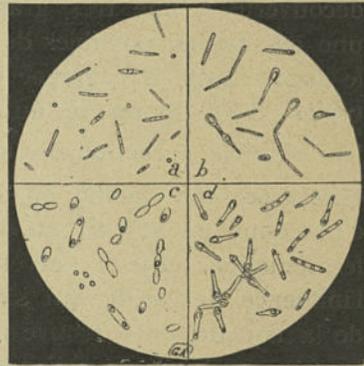


Fig. 230. — a, *bacillus butylicus* (Pasteur); b, *bacillus amylobacter* (Van Tieghem); c, *bacillus butylicus* (Fitz); d, *bacillus orthobutylicus* (Grimbert).

chanvre pour dissoudre la gomme et la jeune cellulose qui réunissent l'écorce à la filasse.

D'après Villiers, quand un empois de fécule est ensemencé à 100° avec une culture de bacillus amylobacter et maintenu à 40° pendant 24 heures, l'empois se liquéfie et au bout de quelques jours il n'y a plus de coloration par l'iode. Il se forme peu d'acide butyrique, surtout des dextrines et un hydrate de carbone celluloïde. Il ne se forme ni maltose ni dextrose; il reste un résidu incolore avec la cellulose. Villiers n'ayant pas opéré avec des cultures pures, nous n'insistons pas.

Bacillus orthobutylicus de Grimbert. — C'est un ferment anaérobie qui fait fermenter directement le saccharose, le maltose, l'amidon, la glycérine, etc., en produisant surtout de l'alcool butylique normal et de l'acide butylique normal $\text{CH}^3 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{CH}^2 \text{OH}$. Ce ferment se rencontre dans les macérations des graines de légumineuses.

Le bacille amylozime de Perdrix est un microbe anaérobie qui fait fermenter les sucres et l'amidon en donnant principalement de l'acide butyrique et de l'acide acétique (1); avec l'amidon, il se produit aussi une certaine quantité d'alcool amylique. Ce bacille a été découvert par Perdrix dans l'eau de la Seine. Cette découverte a une très grande importance en ce qu'elle montre une des causes possibles de la production de l'alcool amylique; le bacille peut être amené dans le moût par l'eau qui sert au travail. Il est, comme les autres bactéries que nous avons étudiées, très sensible à l'action des acides: une acidité de $\frac{1}{1000}$ arrête son développement. Quand on abandonne de l'amidon cuit additionné d'un bouillon nutritif et d'une culture de b. amylozime à la fermentation, celle-ci s'arrête au bout d'un certain temps sous l'influence de l'acide qui s'est formé. Si l'on fait alors l'analyse de la liqueur, on y trouve une forte proportion de sucre qui s'est formé sous l'influence d'un ferment soluble sécrété par le bacille, proportion qui peut atteindre 70 % du poids de fécule mis en fermentation. Si l'on neutralise le liquide au moyen de carbonate de chaux, par exemple, le bacille reprend son action et le sucre disparaît, transformé en acides butyrique et acétique.

Puisque le bacille amylozime produit du sucre qui se décom-

(1) Sensiblement suivant l'équation : $46 \text{ C}^6 \text{ H}^{12} \text{ O}^6 + 18 \text{ H}^2 \text{ O} = 224 \text{ H} + 94 \text{ CO}^2 + 15 \text{ C}^2 \text{ H}^4 \text{ O}^2 + 38 \text{ C}^4 \text{ H}^8 \text{ O}^2$.

pose ensuite en acides, on peut se demander ce qui en résulterait si on enlevait le sucre au fur et à mesure de sa formation, par exemple en le faisant fermenter par une addition de levure. C'est l'idée qu'a eue L. Perdrix. Il a réussi à obtenir ainsi 90 % de l'alcool que peut fournir la fécule et, par conséquent, beaucoup moins de dextrine, d'acides butyrique et acétique; mais il se forme toujours de l'alcool amylique.

Il est vrai que, d'après des expériences récentes de Raymam et Kruis une fermentation avec levure physiologiquement pure, produit également cet alcool, mais ce n'est qu'en très faible quantité.

Fermentation visqueuse et mannitique. Fermentation gommeuse.

434. Cette fermentation est spéciale à la betterave; elle se produit surtout quand on travaille des racines altérées. Le jus devient gras, épais, visqueux; la formation des bulles d'acide carbonique est lente et pénible, et le rendement en alcool est très faible. Le sucre se transforme en *mannite* $C^6 H^{14} O^6 = CH^2 OH(CHOH)^4 CH^2 OH$ ou en *viscose* $C^5 H^{10} O^5$, qui paraît identique à la gomme de sucres (arabinose, dextrane).

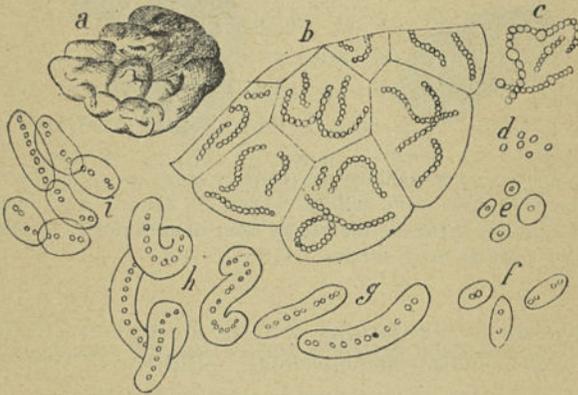


Fig. 231. — *Leuconostoc mesenteroïdes* (d'après Van Tieghem). — *a*, zooglée grandeur naturelle; *b*, coupe d'une zooglée adulte; *c* à *i*, stades successifs depuis la spore adulte jusqu'à la reconstitution de la zooglée ($G = 500$ de *b* à *i*).

Pasteur a découvert dans des moûts ayant subi la fermentation visqueuse de petits globules isolés ou groupés en chapelets produisant de la viscose ou de la mannite, et des globules ressemblant à de la levure, produisant seulement de la viscose.

La fermentation dite gommeuse est produite par de petites cellules rondes réunies en zoogléas par une matière gommeuse, à laquelle Scheibler a donné le nom de *dextrane* et qui paraît être identique à l'*arabinose* (33). Elle se produisait fréquemment dans les presses servant à l'extraction du jus de la betterave en sucre; en distillerie elle ne se produit pas quand la pulpe est bien acidifiée avant son arrivée dans les presses.

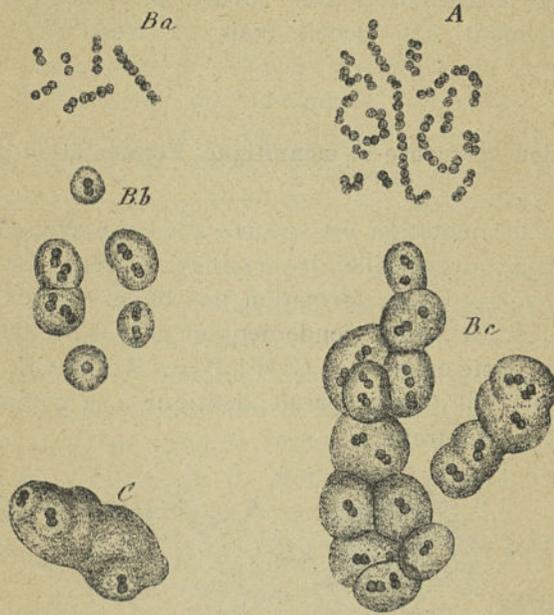
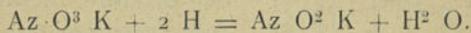


Fig. 232. — *Leuconostoc mesenteroides* (d'après Zopf). — A, Ba, cellules non réunies par une enveloppe; Bb, cellules après 24 heures de culture dans une solution de mélasse; Bc, les mêmes au bout de 48 heures; C, grumeau gélatineux d'où les cellules sont sorties.

Ces formes de fermentations sont produites sur un même micro-organisme, le *Leuconostoc mesenterioïdes*, étudié par Van Tieghem et par Zopf. La dextrane qui forme les zoogléas ne se produit que dans les solutions de saccharose et de glucose. Le *Leuconostoc* sécrète une diastase intervertissant le saccharose. Il se développe le mieux vers 30-37° C, mais il peut supporter facilement 87° C.

Fermentation nitreuse

435. Cet accident se rencontre parfois dans les distilleries de betteraves et de mélasse. Elle est caractérisée par un ralentissement considérable de la fermentation et par l'apparition à la surface du moût de bulles rouges d'acide hypoazotique. Schlösing et Dubrunfaut ont attribué cet accident à la réduction de l'acide azotique des nitrates par l'hydrogène produit dans la fermentation butyrique.



Les acides décomposent facilement les nitrites en mettant en liberté l'acide nitreux qui se dédouble en donnant du bioxyde d'azote, gaz antiseptique qui entrave la fermentation.

Cette fermentation ne se produit jamais que quand, par suite du manque de propreté, la fermentation butyrique s'est introduite dans les mouës; elle ne se présente jamais dans un travail soigné. Du reste, par suite des perfectionnements apportés à la culture de la betterave, celle-ci ne renferme plus que bien rarement des nitrates, en sorte que cette question ne présente plus grand intérêt. Pour éviter la fermentation nitrique il faut empêcher la fermentation butyrique; on y arrive par un travail rationnel et par une minutieuse propreté. Pour les distilleries de betteraves, où la stérilisation n'est pas possible, il faut un lavage parfait des racines et l'emploi d'une eau aussi exempte que possible de germes et de ferments; pour la mélasse, il faut d'abord apporter des soins particuliers au transport, à l'emmagasinage et à la conservation et une stérilisation aussi parfaite que possible.

Fermentations produites par d'autres microorganismes

436. Si l'on verse de l'eau sur le malt (4 fois son poids par ex.) et qu'on laisse le mélange à la température ordinaire d'environ 15° c., on a généralement une fermentation lactique. Fait-on bouillir un tel essai pendant peu de temps et l'abandonne-t-on ensuite entre 40 et 50° c., au lieu d'une fermentation butyrique ou lactique, c'est le bacille du foin, qui se développe énergiquement. Ce bacille se développe surtout à la surface des liquides où il forme

un voile légèrement rougeâtre dans lequel les cellules allongées sont accolées comme des fils de retors. Toute la culture prend une odeur douceâtre et nauséabonde. Dans les cellules isolées il se forme bientôt des spores dont la résistance aux températures élevées est remarquable : ce n'est qu'à 110° que les spores du *B. subtilis* sont tuées à l'état humide. Les cellules longues et minces possèdent un mouvement très vif : elles s'assemblent de

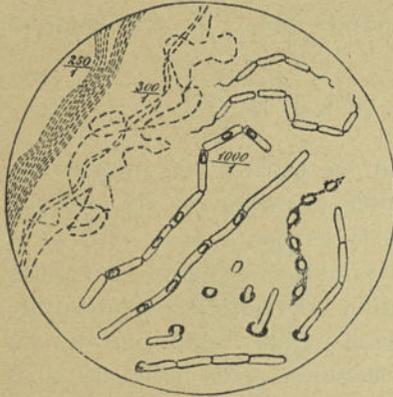


Fig. 233. — *Bacillus subtilis*. Bacille du foin, d'après Brefeld. — A gauche : aspect d'un voile ; les filaments sont très rapprochés. Au milieu : filaments séparés. A droite : formation et germination des spores. Au-dessus : cellules avec cils vibratils.

bonne heure à la surface du liquide où elles poussent en longs filaments dans lesquels il se produit bientôt des points très rétrécissants qui sont les spores de conservation. C'est un aérobie aussi parfait que le *B. aceti*, auquel il ressemble par son mode de développement en voile superficiel. Il existe du reste plusieurs bactéries en bâtonnets qui montrent beaucoup de ressemblance avec celui-ci. Pour distinguer de telles formes similaires, on peut observer la germination des spores et en tirer souvent des indications précieuses. Les spores du *B. subtilis* germent

suivant une direction perpendiculaire à leur axe longitudinal. Par une méthode spéciale de coloration Fischer a récemment démontré que le *B. subtilis* présente de nombreux flagellums qui rayonnent de leurs extrémités ou se trouvent sur les côtés (Voir fig. 233).

En ne faisant bouillir le moût que pendant quelques secondes, les spores du ferment butylique et des bactéries butyriques peuvent également, suivant Beyerinck, rester vivantes ; celles-ci germent ensuite dans la profondeur du liquide et, sous la protection du voile de *B. subtilis*, il se produit une fermentation butylique ou butyrique.

Nous avons vu que Beyerinck a également obtenu ces fermentations en traitant la farine de céréales par l'eau bouillante et abandonnant le mélange à la température de couvée, ce qui donne souvent une fermentation butylique et souvent aussi une fermentation butyrique.

L'examen microscopique des bacilles permet souvent de connaître la nature de la fermentation produite. Dans le cas des fermentations provoquées par le ferment lactique ou le ferment butyrique on voit des bâtonnets minces et allongés, mais les bactéries lactiques sont privées de mouvements tandis que les *B. subtilis* sont animés d'un mouvement serpentant très vif. Le *B. subtilis* forme des spores, tandis que le ferment lactique n'en forme pas.

Dans les moûts envahis par la fermentation butyrique on perçoit généralement une odeur rance désagréable qui se sent à une très grande distance et on obtient sous le microscope une image assez compliquée. A côté des grains d'amidon, des parcelles d'enveloppes et de petits flocons d'albumine, on aperçoit :

1° Les bâtonnets du ferment butyrique, tantôt courts, tantôt longs, dont quelques-uns sont plusieurs fois brisés (fig. 234) ;

2° Des bactéries courtes, courbées, à forme de virgules ou sphériques, assemblées par 4 (pediococcus) ou en chapelet dont les articles ont la forme de petits pains ;

3° De petites bactéries dissymétriques présentant à peu près l'aspect du *bacterium thermo*.

4° Les grandes formes de la *Sarcina maxima*, les plus belles de toutes les bactéries.

On ne rencontre ici que rarement les bâtonnets déliés du ferment lactique.

Si on fait bouillir du moût non houblonné dans un appareil à levure pure pendant un temps très court, par exemple 5 à 10 minutes, on obtient presque sûrement après refroidissement une fermentation énergique produite par le *B. subtilis*. Mais si on abandonne le moût pendant 6 à 8 heures à une température de 50° c., les bactéries lactiques apparaissent déjà en grand nombre et il se produit une légère acidification. Si maintenant on fait

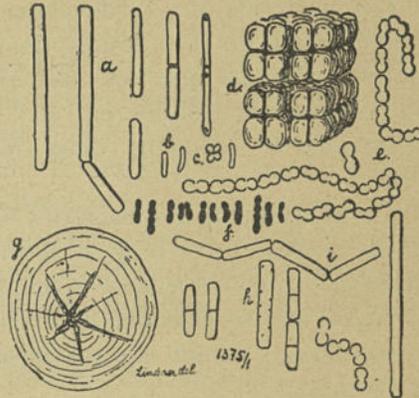


Fig. 234. — Microbes développés dans un moût épais (1/3 malt, 2/3 seigle et 4 p. 100 d'eau), préparé à froid et abandonné pendant 24 h. à 41° C. a, i, h, ferment butyrique ; b, bâtonnets courts ; c, pediococcus ; d, grande sarcine ; e, streptococcus ; f, bacterium termo ; g, grains d'amidon.

bouillir ce liquide un moment, on obtient après refroidissement un liquide stérile pouvant se conserver sans altération : les spores du *B. subtilis* ne peuvent se développer dans ce moût légèrement acide.

Si à ce moût stérile on ajoute de l'eau renfermant des germes de microorganismes, ce sont principalement les espèces de *Bacterium termo* qui se développent rapidement, troublent le liquide et le corrompent.

Les bactéries qui se développent avec une telle rapidité dans le moût sont presque toutes douées d'un mouvement très vif. P. Lindner calcule que les bactéries d'un litre de moût trouble (10 millions de cellules par cc.), parcourent en 24 heures l'espace de 864.000 K^m, plus de deux fois la distance de la lune à la terre.

Le mouvement des bactéries se perd aussitôt qu'on ajoute une levure énergique. Après la fermentation principale c'est même à peine si on trouve encore quelques cellules vivantes. Mais autant la levure sait se défendre contre les bactéries dans les liquides en fermentation, autant elle est mise en péril par eux en dehors de la fermentation.

La levure pressée qui, au moment des lavages, est mise en contact avec beaucoup de bactéries contenues dans l'eau, entre facilement en putréfaction. D'un autre côté il est remarquable que les bactéries qui ont survécu à la fermentation ne nuisent pas à la conservation de la levure.

Ceci s'applique aussi bien au ferment lactique qu'au ferment acétique.

Stérilisation

437. La stérilisation est une opération qui a pour but de tuer tous les genres de fermentation qui se trouvent dans un liquide ou à la surface d'un corps solide. On stérilise par un agent physique ou par un agent chimique appelé *antiseptique*.

Comme agent physique on emploie généralement la chaleur, beaucoup plus rarement l'électricité.

La chaleur est un agent très efficace pour produire la stérilisation ; presque tous les organismes sont détruits à 100° et aucun germe, fût-il même la spore la plus résistante, ne supporte une température de 150°. — L'eau bouillante, la vapeur sous pression,

l'air surchauffé et la flamme (flambage), sont autant de moyens de stérilisation fondés sur ce principe.

Le plus souvent on emploie la vapeur. Pour qu'elle produise son effet stérilisant, il est nécessaire qu'elle agisse pendant un espace de temps qui varie d'une 1/2 heure à 1 heure, ce qui, dans certains cas, altère la qualité du milieu. On évite cet inconvénient au moyen de la stérilisation discontinue ou fractionnée, imaginée par Tyndall, et qui constitue un des procédés les plus importants de la bactériologie pratique.

Tyndall expliquait l'effet de cette opération en admettant qu'entre deux stérilisations successives les spores se transforment en microbes complètement développés qui étaient ensuite tués par la chaleur. Miquel a spirituellement réfuté cette explication. D'après Percy Frankland, l'efficacité de la stérilisation fractionnée est déterminée par l'élévation rapide de la température jusqu'au point d'ébullition. Une élévation répétée de température produit un effet plus décisif qu'une température élevée maintenue pendant la même période de temps (*Distillerie française*, 1894, p. 226).

P. Lindener (W. f. B. 29-13) préfère l'eau chaude à la vapeur pour stériliser, parce que celle-ci donne des résultats incertains et attaque notamment les tuyaux en caoutchouc.

Les *antiseptiques* sont des produits chimiques qui tuent les germes ou du moins empêchent leur développement. Les plus usités sont le chlorure de chaux, le bisulfite, la chaux, la soude, etc.

Le chlorure de chaux, qui est le plus efficace et le plus employé en distillerie, présente d'après les expériences de Fernbach et de Chamberland, le triple avantage d'être le plus énergique, le moins dangereux et le meilleur marché. Pour en tirer le plus de profit possible, il faut opérer comme suit :

La surface à désinfecter doit être bien humectée et la solution pas trop concentrée.

On prépare une fois pour toutes une solution à 10 % de chlorure de chaux sec du commerce et au moment de s'en servir on l'étend de 10 fois son volume d'eau. A cet état de dilution, le liquide est beaucoup plus actif qu'à 10 %. Il faut l'employer aussi chaud que possible.

D'après Will, le chlorure de chaux agit encore très énergiquement sur la levure même quand la solution ne contient que 0,2 % de chlore actif. Le chlorure de chaux solide, étendu en

couche mince, agit aussi très bien. Il a constaté que le chlore mis en liberté par l'hypochlorite agit plus que le chlore préalablement libre. — Will recommande de préparer une solution à 1 % de chlore actif en versant un hecto d'eau sur 3 k. à 3 k. 1/2 de chlorure de chaux à 30-35 %. On peut aussi employer une solution à 10 gr. d'acide sulfureux en mêlant le bisulfite du commerce à 70, 75 gr. d'acide sulfureux., avec 6 fois son poids d'eau. Les moisissures doivent être traitées avec la solution d'hypochlorite même à 5,5 de chlore, tandis qu'une solution de bisulfite de chaux à 1,3 % agit en une 1/2 heure.

Les cuves à fermentation munies d'une couche de vernis ou de paraffine soigneusement appliquée, peuvent parfaitement se stériliser à l'aide d'une solution de chlorure de chaux au 1/100 (10 gr. par litre).

Pour nettoyer à fond une cuve non vernie, Pfister recommande de remplacer les raclages par l'emploi d'une solution bouillante de carbonate de sodium, dont on arrose les parois qu'on brosse énergiquement puis qu'on rince à l'eau.

La cuve ainsi lavée n'est pas encore stérile. On opère la stérilisation par une solution de bisulfite de chaux au 1/10, ou par du chlorure de chaux au 1/100.

Pour les métaux, le meilleur désinfectant est la soude bouillante qui les nettoie parfaitement et les met à l'abri de l'oxydation.

Les conduites de jus doivent être aussi courtes que possible. C'est très souvent par elles que le moût s'infecte. Elles doivent avoir partout une pente de manière que les liquides qu'elles contiennent puissent facilement s'écouler. Il faut éviter les culs-de-sac. On ne doit pas employer pour ces conduites des tubes en caoutchouc qu'il est très difficile de stériliser. Si cependant il existe des parties du circuit en caoutchouc, il faut les stériliser à part. Pour cela, on les suspend verticalement, le bas fermé, et on les emplit de chlorure de chaux ou de bisulfite.

Le reste de la conduite doit se stériliser immédiatement avant l'arrivée du moût. On peut employer, à cet effet, l'eau bouillante ou la vapeur. Avec l'eau bouillante il faut, si les tuyaux sont assez longs, remettre plusieurs fois de l'eau bouillante, surtout s'il y a des culs-de-sac. Si l'on emploie de la vapeur, il faut que celle-ci traverse d'un coup toute la conduite et ressorte brûlante par l'ouverture terminale (*La Bière*, 1894).

CHAPITRE XXIII

Fermentation des moûts de betteraves.

Etat des moûts arrivant à l'atelier de fermentation.

438. Malgré tous les soins apportés au lavage des racines et à l'extraction du jus, le moût de betterave arrivant à la cuverie n'est jamais stérile; en abandonnant un échantillon à l'étuve à une température de 28-30° C, il ne tarde pas à entrer en fermentation dite spontanée... Cette fermentation est provoquée par les micro-organismes provenant de la betterave, des restes de moûts cantonnés dans les appareils et aussi de l'atmosphère.

Pour faire subir à ce moût une fermentation parfaite, il faudrait d'abord le stériliser complètement en le portant à 120° C, le refroidir ensuite à l'abri de l'air, et l'ensemencer d'une levure physiologiquement pure.

Un tel travail, très facile dans un laboratoire, est pour ainsi dire impossible dans une usine où l'on aurait à stériliser journellement plusieurs milliers d'hectolitres de moût. Pour que le travail reste économique, il faut renoncer à la perfection absolue, et se contenter de rechercher le maximum de rendement en alcool, tout en conservant aux opérations leur caractère industriel.

Au lieu d'exiger que la fermentation reste pure jusqu'à la fin, on se contentera d'exiger que les ferments nuisibles ne commencent à devenir dangereux qu'à la fin de la fermentation, quand celle-ci est presque achevée.

Jusqu'ici, la levure employée à provoquer la fermentation dans les distilleries de betteraves était toujours une levure impure, généralement de la levure de brasserie. Une partie du jus en fermentation servait à mettre en levure de nouvelles parties de moûts, en sorte que la même levure, en se propageant, pouvait servir pendant 8, 15 jours, un mois et même toute une campagne.

Si la levure avait été pure, le moût stérile, et si toute cause de contamination avait été exclue, ce travail aurait été irrépro-

chable, car, comme nous l'avons vu, le jus de betterave renferme tous les principes nécessaires à la levure, et par suite il n'y a aucune raison pour que la levure qu'on y cultive à l'état de pureté ne conserve pas toutes ses qualités. Mais les impuretés de la levure s'ajoutent à celles du moût, et au bout de peu de temps la fermentation devient très mauvaise.

Pour avoir une bonne fermentation, il faut d'abord que la levure soit pure.

La meilleure levure ne peut développer une fermentation pure dans un moût impur; mais si on fait en sorte que le milieu soit très approprié à la levure, que celle-ci soit très vigoureuse et en dose suffisante pour provoquer une fermentation très rapide, l'opération, sans être parfaite, sera bonne, et on aura réalisé les meilleures conditions industrielles.

Pour créer dans le moût un climat aussi favorable que possible à la levure qu'on veut développer et peu favorables aux microorganismes rivaux et ennemis de la levure, on ne dispose pour les moûts de betteraves que de deux facteurs: 1° de la température; 2° du degré d'acidité.

A. — *Température.* — La température de fermentation des moûts de betterave varie généralement de 26 à 30° C. Ces températures sont très favorables au développement de la levure et à l'acte fermentatif, tandis qu'elles sont un peu trop basses pour les bactéries qui accompagnent la levure, quoiqu'elles se développent encore bien.

B. — *L'acidité du milieu.* — On provoque et on règle l'acidité des moûts de betteraves par l'addition de l'acide sulfurique. Comment agit l'acide sulfurique? On admet généralement qu'il agit en déplaçant les acides organiques combinés aux bases contenues dans la betterave, c'est-à-dire en mettant ces acides en liberté et créant ainsi un milieu à acidité organique.

Deux faits semblent confirmer cette hypothèse :

1° Quand on fait bouillir un jus de betterave acidifié par addition d'acide sulfurique et accusant une acidité équivalente à 3 gr. de cet acide par litre, le sucre contenu dans ce jus devrait être rapidement inversé, c'est-à-dire transformé en un mélange de dextrose et de lévulose réduisant la liqueur de Fehling (63, p. 43, et 65). Mais il n'en est rien; on ne constate qu'une inversion insignifiante, comme celle que produirait une pareille acidité organique.

2° La levure est très sensible à l'action de l'acide sulfurique. Une levure qui n'a pas été habituée à cet acide par une culture préalable dans un moût acidifié par l'acide sulfurique, se développe déjà difficilement, d'après les essais de Hayduck, dans un milieu contenant 0 gr. 7 à 0 gr. 8 d'acide par litre, tandis qu'une dose de 0 gr. 2 par litre favorise son développement. Dans les fabriques de levure pressée on ne dépasse pas une proportion d'acide sulfurique de 0 gr. 6 à 0 gr. 7 par litre, et ici il n'y a pas présence de sels sur lesquels l'acide sulfurique peut agir en déplaçant leur acide.

Une proportion d'acide sulfurique de 2 gr. par litre annule la multiplication de la levure.

Comme la levure se développe très bien dans un moût de betterave ayant une acidité équivalente à 2,5 à 3 gr. d'acide sulfurique par litre, même sans avoir été au préalable habituée à cette acidité, il faut en conclure que l'acide sulfurique s'est substitué aux autres acides organiques dans le moût et que ce sont ces derniers qui sont libres. Nous avons vu, en effet, que si 0 gr. 7 d'acide sulfurique par litre suffisent à diminuer la force prolifique de la levure, il faut 15 gr. d'acide lactique par litre pour produire le même effet.

Nous arrivons donc à cette conclusion que l'acide sulfurique déplace les acides organiques et les met en liberté. Mais l'acide sulfurique disparaît-il totalement en combinaison ou simplement en partie. En d'autres termes, ne reste-t-il jamais d'acide sulfurique libre? Ceci dépend évidemment : 1° De la dose d'acide sulfurique employée; 2° de la dose de sels à acides organiques qui se trouve dans le moût.

Si avec des betteraves ayant la même densité nous faisons des jus dont la densité s'abaisse de 106 à 105, 104, 103, et si nous augmentons la dose d'acide sulfurique ajoutée par 100 kilogr. de betteraves pour conserver une acidité invariable, équivalente à 3 gr. d'acide sulfurique par litre, il va sans dire que si, au début, tous les acides organiques étaient déplacés par une dose juste suffisante d'acide sulfurique, il y aura dans les jus moins denses une dose d'acide sulfurique libre d'autant plus forte que la densité ira en s'abaissant.

Nous sommes donc amenés à nous occuper d'abord du réglage de la densité.

Réglage de la densité des moûts.

439. Il est évident que pour avoir une fermentation régulière, il est indispensable que la température et l'acidité du moût, soient maintenues toujours les mêmes, et cela n'est possible qu'en tenant constante la densité du moût. On règle la densité en réglant le travail de la macération, de la diffusion ou des presses.

Rôle de l'acidité

440. D'après tous les travaux faits jusqu'ici, on peut attribuer à l'acidité des moûts mis en fermentation, trois rôles :

1° L'acidité favorise directement le développement de la levure qui aime les milieux acides :

2° L'acidité joue un rôle antiseptique à l'égard des bactéries qui préfèrent les milieux neutres ou très légèrement alcalins aux milieux acides ;

3° L'acidité augmente le pouvoir fermentatif de la levure en diminuant son pouvoir prolifique :

4° L'acidité augmente le rendement en alcool non seulement parce qu'elle contrarie le développement des ferments secondaires, mais encore parce qu'elle limite la production de levure qui se fait toujours plus ou moins aux dépens de la production de l'alcool.

Quelle est maintenant la dose d'acidité qu'il faut avoir dans les jus de betteraves ?

Jusque dans ces dernières années, on avait adopté comme règle qu'il fallait acidifier suffisamment pour empêcher une notable augmentation d'acidité pendant la fermentation ; par conséquent, quand l'acidité finale s'élevait, on augmentait l'acidité initiale. L'acidité initiale qu'on adoptait était généralement de 2 gr. 0 à 3 gr. 0, soit en moyenne 2 gr. 5 par litre.

Cette règle est évidemment mauvaise, car l'addition d'un acide ou d'un antiseptique quelconque dans un moût renfermant une levure cultivée et des ferments nuisibles comme les bactéries et les levures sauvages ne peut donner qu'un faible résultat, cela est très bien démontré aujourd'hui. C'est par d'autres moyens qu'il faut chercher à supprimer la production d'acide et pour

cela, il faut remonter à la cause. Si la levure employée est bonne, c'est que l'on a commis une faute dans le travail : lavage des racines insuffisant, manque de soins à l'extraction, manque de propreté à la cuverie.

Donc, quand l'acidité finale s'élève beaucoup, on peut *provisoirement* augmenter l'acidité initiale, mais il faut immédiatement rechercher la cause de ce mauvais résultat, pour la supprimer, et revenir ensuite à une acidification normale.

Une forte acidification des moûts occasionne d'abord une dépense en acide sulfurique, puis elle augmente l'usure des appareils, elle rend plus acides les drèches qui doivent être données au bétail et les vinasses qu'on déversera sur les champs. Il y a donc avantage à marcher à une acidité aussi faible que possible et à ne pas l'augmenter s'il n'en résulte pas un plus grand rendement en alcool.

D'une façon générale, en ne considérant que le rôle antiseptique des acides, on peut dire que plus le travail sera soigné, moins il faudra d'acidité dans le moût. Dans un travail très soigné à la levure pure, on arrive avec une acidité initiale très faible, d'environ 1 gr., à n'avoir qu'une production d'acide insignifiante pendant la fermentation. Comme l'effet antiseptique de l'acide à une si faible dose est forcément presque nul, on pourrait se demander s'il n'y a pas avantage à diminuer encore l'emploi de l'acide ou même à le supprimer complètement. Mais la suppression de l'acide modifierait notablement les propriétés du milieu, car on sait que tous les antiseptiques employés à une très faible dose ont une action excitante très marquée.

On peut encore se demander si, même dans le cas d'une fermentation pure, il ne peut y avoir aucun intérêt à avoir des moûts relativement fort acides, dans lesquels il y a de l'acide sulfurique libre. Nous avons déjà dit qu'on attribue généralement aujourd'hui aux acides le pouvoir d'augmenter l'activité et l'énergie de la levure en limitant son accroissement. M. Effront a constaté qu'en cultivant une levure dans un moût riche en matières nutritives et contenant 10 à 15 gr. d'acide lactique par litre, son activité augmente sensiblement. Même dans un moût stérilisé, c'est encore la levure cultivée dans le moût acide qui donne le meilleur résultat. Supposons un moût renfermant par litre 5 gr. d'acide lactique et 0 gr. 2 d'acide sulfurique ; ce moût accusera une acidité de $5 \times \frac{46}{90} + 0,2 = 2 \text{ gr. } 9$, exprimée en

acide sulfurique et cette acidité favorisera le développement de la levure. De même un moût renfermant 8 gr. 5 d'acide tartrique et 0 gr. 2 d'acide sulfurique libre accusera une acidité de $8,5 \times \frac{49}{150} + 0,2 = 3$ gr. par litre et sera favorable à la multiplication de la levure. Au contraire un moût contenant par litre 7 gr. d'acide tartrique et 0 gr. 7 d'acide sulfurique accusera encore une acidité de 3 gr. par litre, mais à cette dose l'acide sulfurique restreint la production de la levure. Cette limitation dans le développement de la levure, loin de diminuer le rendement alcoolique, peut, au contraire, l'augmenter : 1° en donnant à la levure une plus grande activité et une plus grande force fermentative ; 2° en diminuant la proportion de sucre consommé inutilement pour la production de levure.

Dans le cas où on a affaire à des moûts fortement chargés de bactéries, on n'aura d'autre moyen que de travailler avec une très forte acidité ; de même si on a une trop forte production de levure, une forte acidité pourra être très utile. Mais l'expérience seule peut déterminer la dose d'acide qu'il faut employer. On peut d'abord faire l'expérience au laboratoire en mettant à l'étuve plusieurs flacons contenant le même moût acidifié par des doses croissantes d'acidité, par exemple 1 gr. 5, — 2 gr. — 2 gr. 5 exprimées en acide sulfurique par litre. En distillant 500 c.c. de moût fermenté, récoltant 250 c.c. et déterminant la teneur en alcool au moyen d'un alcoomètre au $\frac{1}{10}$, il est facile de savoir quelle est l'acidité qui donne les meilleurs résultats.

Ce sera une première indication qui sera généralement confirmée à l'usine, puisque le moût sur lequel on a opéré est celui qui est produit dans la distillerie.

Il nous reste quelques mots à dire des explications données relativement au mode d'action de l'acide sulfurique sur la nutrition de la levure dans les moûts de betteraves. On a admis que l'acidité pouvait faciliter l'assimilation des matières azotées en augmentant directement le pouvoir osmotique des cellules ou encore en transformant les matières albuminoïdes en peptones et amides diffusibles et par suite assimilables pour la levure. On sait que pour expliquer l'effet de l'acidification lactique des moûts dans les levains préparés avec les matières amylacées, on a admis d'abord que l'acide lactique agissait en favorisant la peptonisation des matières albuminoïdes par la *peptase* contenue dans le malt. Cette explica-

tion, d'abord généralement admise, a été ensuite abandonnée par les auteurs qui se sont spécialement occupés de la fabrication de l'alcool : Maercker, Delbruck, etc., tandis qu'elle paraît avoir été conservée par ceux qui se sont surtout occupés de la fabrication de la levure (Durst, Herzfeld, Kusserow, etc.). Quoi qu'il en soit, il nous semble que si la peptonisation n'est pas bien marquée dans le traitement du malt sec, elle peut être considérée comme négligeable dans beaucoup de cas pour le travail des betteraves.

Mise en fermentation des moûts de betteraves

441. La mise en fermentation des moûts de betteraves se fait de deux manières différentes :

- 1° Directement par de la levure :
- 2° Par des levains.

A. *Mise en fermentation directement par de la levure*

La levure la plus généralement employée dans ce but est la levure de bière. Cette levure est *liquide* quand elle vient directement des brasseries du pays ; elle est en pâte quand elle provient de levure liquide qu'on a pressée pour séparer le liquide (la bière) dans lequel nageaient les cellules ; cette levure est généralement expédiée d'Angleterre et on l'appelle *levure anglaise*. Une autre espèce de levure plus rarement employée est la *levure pressée* de distillerie, dite levure de boulangerie.

D'après ce que nous avons dit au chapitre de la fermentation, la moins bonne de ces trois variétés est la *levure pressée* de distillerie. Quant à la levure pressée de brasserie ou levure anglaise, il est certain que la séparation de la partie liquide purifie légèrement la levure, le liquide entraînant avec lui plus de bactéries que de cellules de levure ; mais d'autre part cette opération ne peut guère se faire sans occasionner une légère contamination, et comme la levure en pâte est plus sujette à s'échauffer, il vaut encore mieux employer la levure telle qu'elle se dépose dans les *menettes* du brasseur.

Pour provoquer la fermentation au moyen de cette levure, voici comment on a opéré et comment on opère encore aujourd'hui :

Dans une cuve à fermentation, on introduit de 30 à 35 hectos de moût de betterave à une densité de 1030 à 1050 et à une

température de 32 à 28° C, suivant la température extérieure. Dans une *tine* d'un à deux hectos, on introduit un peu de ce même moût et 10 à 20 k. de levure pressée ou une quantité double de levure liquide. Le jus contenu dans la tine se couvre bientôt d'une mousse épaisse qui monte, et, au bout de quelques minutes, le liquide menace de déborder; on le vide alors dans la cuve à fermenter et on agite énergiquement pour mélanger et dissoudre dans le moût une certaine quantité d'air qui favorise le développement de la levure.

Quand la fermentation est bien établie, ce que les ouvriers constatent généralement en plongeant la tête dans la cuve et en aspirant fortement ou, plus souvent encore, en y faisant descendre un lampion allumé attaché à une ficelle et qui s'éteint quand il rencontre une couche d'acide carbonique suffisamment pur, on remet en marche les appareils d'extraction et on emplît progressivement la cuve. La levure doit toujours se trouver en assez grande abondance dans le moût, de façon à pouvoir tenir tête aux mauvais ferments, qui sont constamment amenés par le jus frais. Pour s'assurer que cette condition est remplie, on devrait évidemment recourir au microscope; mais on emploie un moyen basé sur la constatation de la densité. Ce contrôle est basé sur ce que la quantité de levure produite est à peu près proportionnelle au poids d'alcool formé. L'abaissement de densité, qui donne approximativement la production d'alcool, peut donc également donner une idée de la production de levure, et, pour s'assurer qu'il y a toujours assez de levure dans le moût, il suffit de faire arriver le jus frais assez lentement pour que, la densité de celui-ci étant de 4,0 (1040), par exemple, celui du moût en fermentation soit de 1,0 à 2,0 (1010 à 1020).

D'après ce que nous venons de dire, on voit immédiatement qu'on devra maintenir la densité d'autant plus basse que le jus de betterave sera plus impur. Les praticiens admettent cette règle pratique, et ils disent qu'il faut priver un peu la levure et lui laisser *avoir faim*.

Cependant, pour la confection du pied, on ne peut pas toujours suivre cette règle; en retardant l'alimentation pour laisser à la levure le temps de se développer, on pourrait lui nuire en la privant de l'air qu'amène toujours avec lui le jus frais et qui ne lui peut arriver autrement au fond d'une cuve. C'est pour cela qu'on recommande souvent de remplir rapidement la cuvée avec un jus nouveau aussitôt que le pied fermente vigoureusement.

Mais un coulage trop rapide met la levure dans une position critique; les cellules ne sont plus en nombre suffisant pour envahir rapidement le jus, en d'autres termes, pour être maîtresses du milieu; la fermentation semble s'arrêter et les praticiens disent que la *cuve est noyée*. Le ferment est pendant un certain temps en quantité insuffisante; il se produit dans l'opération ce que les techniciens allemands appellent un *point mort*. On doit éviter cet accident avec grand soin.

Au lieu de faire le pied au fond d'une grande cuve à fermentation de 100 à 300 hectolitres, il nous paraît préférable de le préparer dans une petite cuve spéciale, qu'il est plus facile de maintenir très propre, dans laquelle on règle plus facilement la température, qu'on peut emplir jusqu'au bord, de façon à avoir un dégagement facile de l'acide carbonique et une aération par surface, et enfin qui est plus facilement abordable pour y constater la température, la densité et l'activité de la fermentation.

Cette cuve aura par exemple 1/5 de la capacité de la cuve à fermentation, soit de 20 à 60 hectos, et on y fera les opérations indiquées ci-dessus.

Pour remédier au manque d'air dans le pied quand on le fait dans la grande cuve, on pourrait installer au fond de cette cuve un tuyau perforé (barboteur) pour injecter de l'air; mais nous ne sommes pas partisan de monter des tuyaux dans les cuves à fermenter; ce sont des appareils difficiles à nettoyer et dont on peut très bien se passer, comme nous le montrerons dans la suite. L'aération par surface suffit généralement. Si le besoin d'aération se faisait sentir, on pourrait installer un barboteur d'air dans la cuve à levain ou mieux dans les cuves préparatoires, s'il en existe; mais il est généralement inutile d'en installer dans les cuves à fermenter.

Une fois qu'une cuve est pleine de jus et que la fermentation est suffisamment avancée, on se sert de ce jus pour mettre en fermentation d'autres cuves. A cet effet, on peut opérer de trois manières différentes: 1° par coupage; 2° par débordement; 3° par cuve-mère.

1° *Fermentation par coupage*. — Le coupage consiste à partager chaque cuve, lorsqu'elle est pleine, avec une autre cuve vide; on a donc deux demi-cuves de jus en fermentation, sur lesquelles on divise les jus arrivant de l'extraction, jusqu'à leur complet emplissage. On abandonne alors la plus ancienne (n° 1) dans

laquelle s'achève la fermentation et on coupe l'autre (n° 2) avec la suivante (n° 3) pour continuer toujours ainsi.

Au lieu de mettre dans la cuve n° 2 la moitié du jus contenu dans le n° 1, on peut ne mettre que le $\frac{1}{3}$, le $\frac{1}{4}$, le $\frac{1}{5}$, ou même encore moins, suivant que la *cuverie* est en retard ou à l'avance, c'est-à-dire suivant que l'on veut faire *tomber les cuves* plus ou moins vite. S'il y a beaucoup de jus fermenté à l'avance, on ralentit en mettant peu de jus dans la nouvelle cuve; au contraire, s'il y a peu de jus fermenté, on coupe les cuves par moitié, de façon à avoir rapidement du *vin*.

Pour le coupage, les cuves sont munies d'un tuyau de communication qui court le long de la rangée et est relié à ces cuves par une tubulure munie d'un robinet; ce tuyau est environ aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur des cuves. Les robinets sont munis de clefs à longue tige et d'un volant pour la manœuvre au-dessus du plancher de la *cuverie*.

Cette méthode de fermentation est surtout usitée pour le travail par les presses, qui fournit toujours des jus mousseux.

2° *Fermentation par trop plein ou par débordement*. — Elle consiste à tenir toujours pleines deux ou plusieurs cuves en fermentation, sur lesquelles est divisé le jus nouveau, et c'est seulement le trop plein de ces cuves qui est envoyé dans la cuve vide suivante; une fois celle-ci remplie, on arrête la plus ancienne des autres, et la dernière reçoit à son tour une partie du jus nouveau, pour concourir avec les précédentes à l'alimentation d'une nouvelle cuve.

Cette méthode est surtout employée pour la fermentation des jus de macération, qui moussent peu; elle ne serait pas possible avec les jus de presse, qui moussent très fort. On attribue à ce système cet avantage, que le ferment est constamment transmis par la partie supérieure de la cuve, celle où l'on observe la fermentation la plus active, la levure remontant toujours à la surface.

En outre, le rapport entre le jus en fermentation et le jus nouveau reste constant, ainsi que la température, condition favorable à la régularité de la fermentation.

Avec le coupage, ce rapport, au contraire, varie continuellement suivant le degré d'emplissage de la cuve, ce qui occasionne des changements de température et de densité très nuisibles.

Voilà ce que disent les praticiens partisans de la fermentation continue avec communication par trop plein ou débordement.

Il est certain que dans un moût en fermentation, la répartition de l'énergie fermentative n'est pas homogène : elle est plus grande dans les couches supérieures que dans les couches inférieures, ce qui paraît bien dû à ce que le plus grand nombre de cellules de levure est amené à la partie supérieure du moût par le dégagement de l'acide carbonique. Nous avons bien souvent constaté, surtout pour les moûts de mélasse, que quand on coupe en deux une cuve avant que le moût soit *mûr*, c'est-à-dire avant le moment où les cellules de levure cessent de se reproduire et se séparent les unes des autres, la fermentation dans la deuxième cuve, celle qui a reçu le moût du fond de la cuve précédente, est mauvaise.

Cet accident ne se présente pas avec la communication par trop-plein ou débordement ; mais comme il est très facile de l'éviter en maintenant toujours la densité assez basse dans les cuves, ce qu'on est du reste amené à faire pour les motifs exposés ci-dessus, il ne constitue aucun cas d'infériorité vis-à-vis de la méthode par débordement. Du reste, la fermentation continue n'est rationnelle qu'à la condition que des liquidations absolument régulières soient faites, que les cuves soient vidées et nettoyées soigneusement d'une façon périodique, et ce travail est plus difficile avec la propagation par trop-plein ou par débordement qu'avec la propagation par coupage.

3° *Fermentation par cuve-mère.* — Ce procédé consiste à entretenir la fermentation dans une cuve placée à un niveau supérieur à celui des cuves à fermenter et à soutirer à intervalles réguliers de 3 heures par exemple, $\frac{1}{3}$ du moût de cette cuve pour faire un pied dans une cuve à fermentation.

Cette méthode est fort bonne à la condition que la cuve-mère soit préparée très soigneusement et qu'on la liquide fréquemment, tous les deux jours ou même tous les trois jours, et non pas tous les 8-15 jours comme on le fait souvent.

Si la cuve-mère est faite et entretenue avec du moût ayant subi une *stérilisation parfaite* et avec une *levure pure* de bière (*saccharomyces cerevisiae*) ou de vin (*S. ellipsoideus*) ; si, en outre, toutes les cuves, tuyautages, etc... sont d'une propreté irréprochable, on aura une fermentation presque pure.

Ceci nous amène tout naturellement à parler de l'emploi des levures sélectionnées et pures pour les betteraves.

Fermentation par levures pures

442. Le premier qui ait tenté de faire fermenter en grand les jus de betteraves avec des levures sélectionnées pures est M. G. Jacquemin. Son procédé a été décrit dans une brochure publiée en 1893 (1).

Voici en quelques mots en quoi consistait son procédé :

Dans une cuve en bois de 20 hectos munie d'un couvercle à joint hydraulique, d'un tube deux fois recourbé pour le dégagement du gaz, d'un barboteur de vapeur pour le chauffage, d'un tuyau perforé pour l'aération, d'un robinet inférieur pour la vidange, d'un robinet d'extraction placé aux $\frac{2}{3}$ de la hauteur pour le soutirage de jus si on en a besoin, on introduit du moût de betterave ordinaire et, par injection de vapeur, on chauffe jusqu'à la température de 100° qu'on maintient durant $1\frac{1}{2}$ heure, puis on refroidit à 25° C. Dans une petite bassine cylindrique en cuivre de trois hectos portant couvercle à fermeture hydraulique et tube d'évacuation du gaz, et munie également d'un tuyau d'aération, on soutire, en l'approchant de la cuve précédente et la plaçant sous le robinet d'extraction, deux hectos du jus à 25° C, et on y déverse en même temps le contenu d'une bonbonne de 25 litres de levure pure.

La levure qui a été épuisée par des cultures dans l'eau sucrée en vue de sa conservation puis mise en suspension dans un liquide azoté non sucré — celui qui est dans les bonbonnes — se trouvant maintenant en présence d'un liquide contenant à la fois du sucre et des matières azotées, se régénère; les cellules toutes ratatinées se gonflent puis se mettent à bourgeonner. Cette première phase de l'opération est ce que M. Jacquemin appelle le *réveil*. Au début de ce travail, le réveil exigeait de 24 à 48 et même 60 heures, malgré l'insufflation constante d'air stérilisé par filtration sur coton.

Quand la densité de ce levain n° 1 est tombée de moitié, on le verse dans la cuve précédente pleine de moût stérilisé à 100° et refroidi à 25° . Quand la densité est ici encore tombée de moitié, on le fait couler dans une cuve de 100 hectos dans laquelle on fait progressivement arriver du moût de betterave non stérilisé ayant une température variable de 25 à 28° suivant

(1) Les levures pures de vin en distillerie. Paris, 1893.

la température extérieure. Enfin le moût de cette cuve de 100 hectos, dite *cuve intermédiaire*, une fois la densité tombée de moitié, est également versé dans une cuve de 600, 800, 1000, 1500 hectos, où l'on coule encore du moût à une température de 25°, et où on laisse la fermentation s'achever complètement quand la cuve est pleine.

Dans la grande cuve aussi bien que dans la cuve intermédiaire on injecte constamment de l'air filtré pendant la fermentation. M. Jacquemin attribue une grande importance à cette opération « qui a pour objet de donner de la vigueur à la levure et de lui permettre de transformer normalement le sucre en bon alcool éthylique avec un minimum de produits de tête et de queue. De plus, cette oxygénation s'oppose à la prolifération des ferments de maladie producteurs de mauvais alcool, isobutylique et autres. » Nous reviendrons plus loin sur la question de l'aération; occupons-nous d'abord du procédé en lui-même.

C'est au travail de la mélasse, à la distillerie Tilloy-Delaune et C^{ie}, à Courrières, que ce système a d'abord été appliqué. On faisait un levain pour chaque cuve. Pour trois cuves de 1,500 hectos, soit 4,500 hectos de moûts par jour, on faisait trois levains à raison de 25 litres de levure par levain. On employait donc 75 litres de levure à 3 fr. le litre, soit une dépense de 225 fr. par jour, ou 80,000 par an!

Dans la suite, M. Jacquemin remplaça la cuve de 30 hect. en bois par une bassine en cuivre de 10 à 15 hectol., ce qui permit de supprimer le serpentín intérieur; il supprima également le tube d'abduction et fit des couvercles avec rebord dentelé: le gaz s'échappait en barbottant dans l'eau du joint hydraulique. Enfin le tuyau d'aération passait par le couvercle et celui-ci portait en outre un thermomètre plongeant dans le liquide (fig. 235).

On ajouta aussi au moût servant à la culture de la levure quelques kilos de maltopeptone, produit qu'on avait déjà utilisé pour la préparation des levains avec la mélasse.

Voici la manière d'opérer :

On remplit aux 2/3 la petite bassine de moût acidifié à 1 g. 5 par litre, on ajoute quelques litres de maltopeptone et on porte le tout à l'ébullition (à 101-102°), qu'on maintient pendant un quart d'heure en injectant de la vapeur par le tuyau perforé servant à l'aération; on remplace ensuite la vapeur par l'air comprimé et on refroidit par un jet d'eau froide sur le couvercle et sur les parois extérieures de la bassine.

Quand la température est descendue à 32° C, on lève le couvercle, on ajoute la levure, on referme le vase, on continue de refroidir jusqu'à 28-29° C; puis on cesse le refroidissement et on maintient constamment la température à 28-29°.

Quand ce petit levain est en pleine fermentation, on le transvase dans la grande bassine de 15 hectos préalablement remplie aux deux tiers de moût de la distillerie, peptonisé et stérilisé, comme dans l'opération précédente.

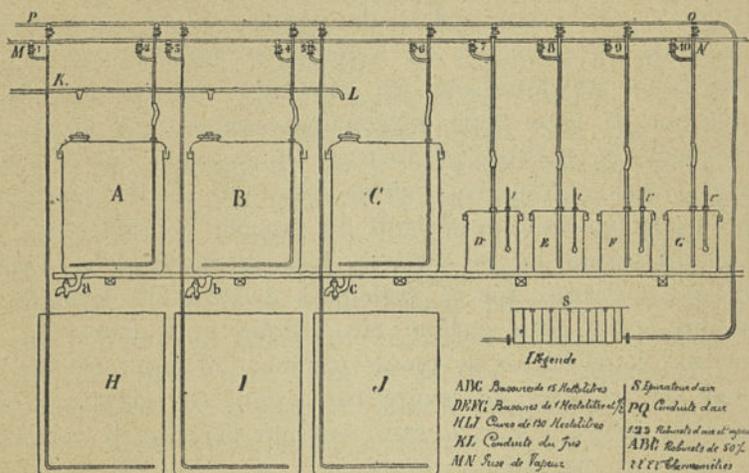


Fig. 235.

Dans le procédé de préparation des levains que nous venons de décrire, il est évident que le moût à levain n'est que partiellement stérilisé; à notre avis, c'est insuffisant: il faut une stérilisation parfaite. Nous préférons donc le procédé suivant, décrit par M. Jacquemin (1):

« Faire un chargement ordinaire d'une dizaine d'hectos de moût et le faire couler dans un Krüger (222, p. 231). Ajouter la quantité de maltopeptone nécessaire à la reproduction de la levure pour la grande cuve (soit 36 litres). Mettre le Krüger en pression jusqu'à 1 kilog. environ (120°) et laisser le moût se pasteuriser pendant 1/4 d'heure, puis renvoyer ce moût aux bassines en cuivre en le faisant passer à travers un réfrigérant qui se compose d'un serpentín entouré d'eau froide. »

Le reste des opérations s'exécute comme ci-dessus.

(1) Les alcools produits des fermentations pures. Nancy, 1895.

Dans tous ces procédés on préparait des pieds de cuves au moyen de levains produits chacun par une nouvelle dose de levure pure. Ce système avait, comme nous l'avons montré, l'inconvénient d'être coûteux pour le distillateur et d'exiger de grands soins, puisqu'il fallait manier chaque jour plusieurs doses de levure pure.

Pour éviter cet inconvénient, quelques distillateurs installèrent des appareils spéciaux pour la culture de la levure pure.

LEVAINS CONTINUS APPAREILS ET PROCÉDÉ G. JACQUEMIN

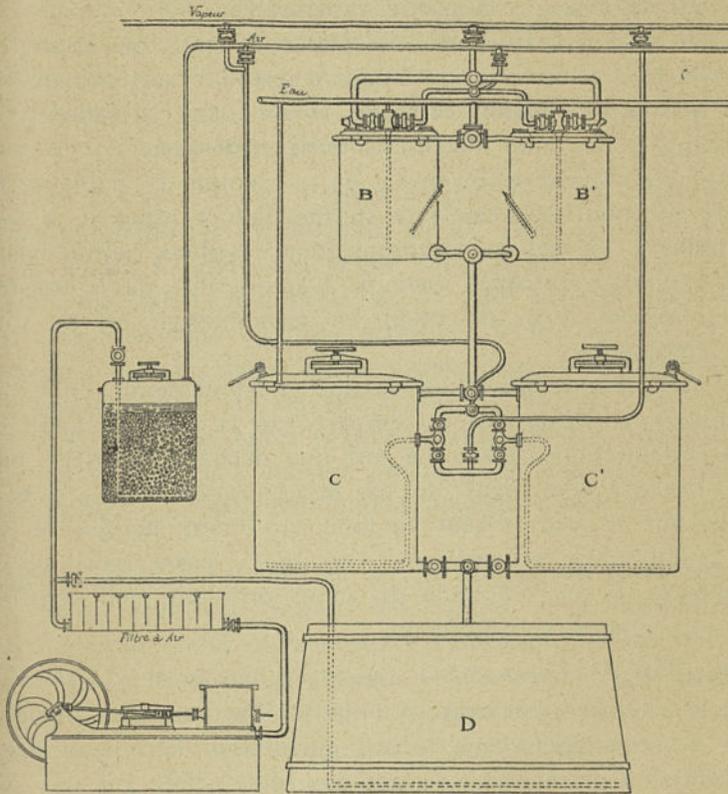


Fig. 236.

Appareil à levains continus de M. Jacquemin. — En 1896, M. Jacquemin prit un brevet pour un appareil à levains continus, représenté par la figure 236. Cet appareil utilise également l'air filtré.

L'air aspiré au-dessus de la toiture de l'usine est refoulé par la pompe dans un filtre à chicanes, dont les cases sont bourrées de coton salicylé et de coton hydrophile, puis passe dans les

quatre vases figurés au-dessus, dont le premier est vide, le deuxième rempli d'acide sulfurique, le troisième vide et le quatrième rempli de carbonate de soude, et de là dans les tuyaux de distribution.

Le réveil se fait dans les petites bassines de premier levain B B'. Le récipient B étant rempli aux deux tiers de moût acidifié, on ajoute un peu de maltopeptone, on porte à l'ébullition en injectant de la vapeur par le tube barboteur, on maintient la température pendant quelques minutes, puis on ferme le robinet de vapeur et on ouvre celui qui donne passage à l'air; on refroidit ensuite en faisant ruisseler de l'eau sur la bassine par la couronne qui se trouve à la partie supérieure.

Quand la température est descendue à 30° C, on arrête l'eau, on introduit la levure en continuant d'aérer, et, au bout de vingt-quatre heures, on envoie ce petit levain dans la bassine C, où l'on a préparé du moût stérilisé comme ci-dessus.

Avant de descendre B en C, on a rempli B' d'une certaine quantité de moût soumise à la stérilisation et ramenée à 30° C. A ce moment, on met en communication les deux petites bassines B et B' pendant quelques instants. L'air stérilisé de la bassine B refoule quelques litres de moût en fermentation en B', qui se trouveensemencé.

Cela fait, le contenu de la bassine B est descendu en C, et la fermentation ne tarde pas à s'emparer de la masse. Quand on a obtenu l'atténuation voulue, on fait une décharge partielle par le robinet placé à 50-60 cent. du bas de la grande bassine C et l'on recharge sur le pied restant au fond, du moût stérilisé en C'.

Le grand levain préparé en C ou en C' passe dans la cuve intermédiaire D, où on coule du moût ordinaire non stérilisé et où on aère encore constamment.

Appareil de M. Fernbach. — Dans ces dernières années, M. A. Fernbach, chef de laboratoire à l'Institut Pasteur, s'est également occupé de sélectionner une levure pure pour les distilleries de betteraves et d'en répandre l'usage dans ces usines. Au lieu d'une levure de vin, comme MM. Martinand et Jacquemin, M. Fernbach a sélectionné sa levure d'un levain employé et conservé d'une année à l'autre par un distillateur agricole des environs de Paris, M. Petit. Cette levure sélectionnée et cultivée à l'état de pureté à l'Institut Pasteur, est expédiée en bouteilles de 1 litre. Voici comment M. Fernbach emploie cette levure (1) :

(1) Annales de la Brasserie et de la Distillerie, n° 1, janv. 98.

Dans une cuve cylindrique de 12 hectos (fig. 237), en cuivre étamé à l'étain fin, pourvue d'un robinet de vidange à sa partie inférieure, renfermant un serpentin disposé de telle façon qu'on puisse y faire passer alternativement de la vapeur pour porter le moût à l'ébullition et de l'eau froide pour le refroidir, munie en outre d'un couvercle c à 2 rebords, d et e, facile à mettre en place, qui n'a pas besoin d'être hermétique et qu'on place sur la cuve pendant les derniers instants de l'ébullition, on introduit du moût de betterave d'une densité de 1030 à 1040 et ayant une acidité d'environ 1 gr. exprimé en acide sulfurique.

On porte ce moût à l'ébullition, en plaçant le couvercle sur la cuve au bout de dix minutes d'ébullition franche. On continue encore l'ébullition pendant 3 ou 4 minutes, puis on refroidit en faisant passer de l'eau dans le serpentin jusqu'à ce que la température se soit abaissée à 26-28° C.

Réveil de la levure. — M. Fernbach opère le réveil dans un bac plat quadrangulaire ou cylindrique, en fer, ou en bois, ou mieux en cuivre étamé à l'étain fin, d'une capacité de 15 à 20 hectos, placé immédiatement au-dessous de la cuve de stérilisation. Ce bac porte sur son fond un tube percé de trous, agencé de telle sorte qu'on puisse y injecter de la vapeur pour le stériliser et de l'air comprimé, filtré au travers d'une colonne de coton modérément tassé renfermé dans un tube. D'après M. Fernbach il est inutile que ce bac soit couvert ; mais il est avantageux que le tube d'injection d'air soit démontable facilement pour le nettoyage du bac.

Immédiatement avant de s'en servir, le bac de réveil est nettoyé à fond, lavé dans toutes ses parties à la brosse et au bisulfite de soude (celui du commerce additionné, immédiatement avant l'emploi, de 3 ou 4 fois son volume d'eau bouillante) ou au chlorure de chaux (chlore du commerce en solution à 1 pour cent) (1), puis rincé à l'eau bouillante ou au moyen d'un jet de vapeur. Les liquides de lavage sont évacués par un robinet de vidange. Le tube d'injection étant mis en place, on y fait passer de la vapeur pendant quelques instants.

(1) M. Fernbach prépare cette solution en délayant le chlore commercial dans 10 fois son poids d'eau, décantant le liquide à peu près clair qui surmonte la partie restée insoluble, et l'additionnant, au moment de l'emploi, de 10 fois son volume d'eau bouillante. Nous plaçant au point de vue purement pratique, nous préférons la solution trouble de chlorure de chaux, dont il est plus facile de surveiller l'emploi.

Aussitôt après ces opérations, on laisse couler dans le bac 5 hectos de moût à 26-28° C, provenant de la cuve de stérilisation et, en même temps, le contenu de 4 bouteilles de levure (de 1 litre) qui ne sont ouvertes qu'à ce moment. On injecte une petite quantité d'air, en quantité suffisante pour brasser énergiquement toute la masse, et on laisse la fermentation partir, ce qui a lieu généralement au bout de 4 ou 5 heures.

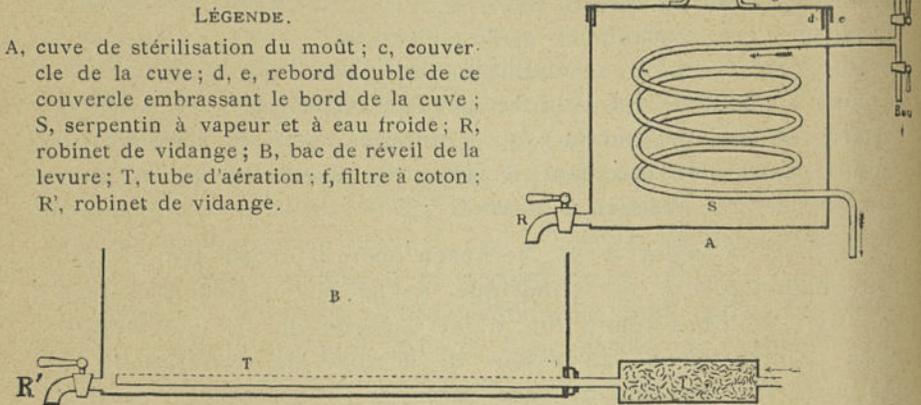


Fig 237. — Agencement schématique des appareils nécessaires pour l'emploi de la levure pure (A. Fernbach).

Dès que le bac de réveil est en pleine fermentation, on y fait couler lentement 5 nouveaux hectos de moût provenant de la cuve de stérilisation, toujours à la température de 26-28°.

On pourrait s'en tenir à ces deux alimentations successives de la levure avec du moût stérilisé, mais il est préférable d'y couler un nouveau volume de 10 hectos de moût bouilli.

Passages aux grandes cuves. — Lorsque le bac de réveil est en pleine fermentation, on fait couler les 8/10 de son contenu dans une cuve de fermentation ordinaire, après avoir injecté dans la masse une petite quantité d'air destiné à répartir uniformément la levure. On peut continuer à alimenter ce qui reste dans le bac avec du moût bouilli pour constituer un second pied de levure destiné à une seconde cuve, et ainsi de suite.

Avant de recevoir la levure, chaque grande cuve sera désinfectée et rincée de la même manière que le bac de réveil de la levure. Une fois la levure coulée dans la grande cuve, on coulera le moût ordinaire dans celle-ci, et on le coupera à la manière ordinaire.

Installation des appareils. — M. Fernbach dit avec raison que ces appareils doivent être autant que possible installés dans un local clos, séparé du reste de la distillerie, qui puisse être maintenu dans un état de propreté rigoureuse et dont le sol est fréquemment lavé à grande eau, afin d'éviter que les germes nombreux qui s'y déposent et pullulent dans toutes les gouttelettes de moût répandu, ne soient soulevées dans l'air par les allées et venues et n'apportent une source perpétuelle de contaminations.

Travail avec stérilisation parfaite

443. Si nous comparons le procédé Fernbach au procédé Jacquemin, nous voyons d'abord que M. Fernbach n'emploie que 5 heures pour faire le réveil, tandis que M. Jacquemin en emploie 24. Ce long temps exigé par la levure Jacquemin pour son réveil est-il un inconvénient? Assurément non quand le moût est parfaitement stérilisé, et que les opérations sont faites à l'abri de toute cause de contamination. Or, MM. Jacquemin et Fernbach se contentent tous les deux de faire bouillir le moût, ce qui est forcément insuffisant pour avoir une stérilisation complète du jus de betterave, qui, à moins que le travail ne soit d'une perfection difficile à réaliser, renferme toujours, outre des ferments adultes, des spores et des conidies résistant à des températures supérieures à 100°. L'inconvénient ne sera pas bien grand si la levure a déjà complètement envahi le moût et a atteint toute sa vigueur avant que les spores et conidies aient eu le temps de se développer; mais si la levure met de 24 à 48 et même jusqu'à 60 heures, comme cela est déjà arrivé, avant de devenir maîtresse du milieu, il est clair que le levain ne sera pas pur.

A notre avis, il est préférable de toujours faire subir une stérilisation parfaite à 120° à tout le volume de moût qui sert à la préparation des levains.

Nous savons par expérience qu'une stérilisation imparfaite est beaucoup plus dangereuse que la contamination par l'air dont on a considérablement exagéré l'importance.

Rien n'est plus facile que de diminuer l'influence de cette contamination au point de la rendre presque nulle; il suffit pour cela de tenir très propres et d'aérer fortement les salles dans lesquelles on opère. La contamination par les appareils et les

restes de moûts est très difficile à éviter ; on n'y parvient qu'avec des soins minutieux et de tous les instants.

Avec des moûts ayant subi une stérilisation parfaite, une cuverie bien propre et bien aérée, on peut, en opérant avec une levure pure et prenant les soins voulus pour le maintien en état de propreté de tout le matériel, réaliser une fermentation alcoolique d'une pureté remarquable. Point n'est besoin pour cela, d'opérer à l'abri de l'air ni même d'avoir des pompes et des filtres pour l'injection d'air stérilisé. Toutes les complications de matériel sont, à notre avis, plus nuisibles qu'utiles. Combien d'insuccès ne faut-il pas attribuer à la trop grande complication du matériel ! Les robinetteries compliquées sont des nids à microbes qu'il est presque impossible de nettoyer. Si avec cela le moût servant à la culture de la levure est incomplètement stérilisé, cette robinetterie sera de plus en plus dangereuse et les difficultés deviendront insurmontables ! C'est ainsi que dans les premières applications de la levure de vin dans les distilleries de mélasse, cette levure donnait souvent des fermentations beaucoup plus impures qu'une vulgaire levure de bière achetée au hasard dans une brasserie. En partant d'une levure physiologiquement pure, on arrivait à une fermentation bien moins pure que celle qu'on obtenait avec une levure primitivement souillée de bactéries. Les fermentations étaient parfois tellement impures qu'elles s'arrêtaient aux $\frac{2}{3}$ ou aux $\frac{3}{4}$ en donnant une perte en alcool considérable. Bien plus fort encore : nous avons vu des cuves à mélasse donnant une fermentation normale par une levure de bière, et tuées presque net par l'addition d'un levain à la levure pure de vin dont l'examen microscopique laissait à désirer !

La grande question est donc de stériliser complètement le moût servant aux premiers levains et d'opérer dans des appareils simples qu'on peut facilement aussi stériliser d'une façon parfaite.

On peut opérer la stérilisation dans un autoclave analogue au Krüger (222, p. 281) et refroidir dans cette autoclave au moyen d'un serpentín, ou refroidir dans une cuve spéciale également au moyen d'un serpentín. Dans ce cas, on peut refroidir au moyen du moût froid qui entre par le bas pour sortir par le haut et se déverser dans le Krüger et être stérilisé ensuite. Ce système permet une récupération partielle de la chaleur nécessaire à la stérilisation.

Mais le mieux est évidemment de stériliser le moût à levain d'une façon continue dans un stérilisateur spécial.

Stérilisateur-récupérateur continu E. Houdart

444. Clément Desormes a reconnu le premier que, pour avoir une rapide transmission de la chaleur d'une paroi à un liquide, il faut une grande vitesse de circulation de ce liquide au contact de la paroi, et les expériences de Péclet ont démontré que le liquide devait être renouvelé 1.600 fois par minute pour pouvoir lui incorporer les calories transmises par le métal, laiton ou cuivre.

L'invention de M. Houdart, basée sur ce principe, consiste dans l'emploi d'une pompe qui refoule sous une certaine pression et avec une grande vitesse, le vin dans les espaces intertubulaires de l'appareil. De même la vapeur circule rapidement dans les tubes. Non seulement on obtient ainsi une rapide transmission de la chaleur, mais on empêche en outre dans les tuyaux toute stagnation de gaz contrariant la circulation.

Par suite de l'emploi d'une pompe, il est inutile que le liquide à chauffer soit placé en charge sur l'appareil et on peut rendre automatique le réglage de la chauffe et du débit. L'appareil se met en marche, se ralentit, s'arrête seul, suivant que l'arrivée du moût à stériliser commence, diminue ou cesse.

Le faisceau tubulaire (fig. 238) est composé d'une série de tubes droits inclinés *e*, assemblés deux à deux aux extrémités par des vis *g*, traversant et prenant point d'appui sur le bâti en fer du récupérateur.

Chacun de ces tubes *e* contient un faisceau amovible de tubes plus petits, aboutissant à une boîte *f* qui, en même temps qu'elle met en communication l'intérieur de deux faisceaux consécutifs, vient par son serrage sur des bagues en caoutchouc sertir les faisceaux aux parois des tubes *e*.

On constitue donc ainsi deux canalisations, l'une extérieure aux tubes des faisceaux par les communications *k*, l'autre intérieure par les boîtes. Chaque boîte, serrée par un seul écrou, se démonte avec la plus grande rapidité, et rend visible l'intérieur des petits tubes: de plus, la boîte enlevée, le faisceau tubulaire se retire avec la même facilité, pour la visite et le nettoyage de l'extérieur; enfin, le faisceau retiré, le gros tube *e* devient complètement accessible et nettoyable, sans qu'il soit nécessaire de l'enlever de ses supports, ce qui du reste se ferait par le simple desserrage des deux vis *g*.

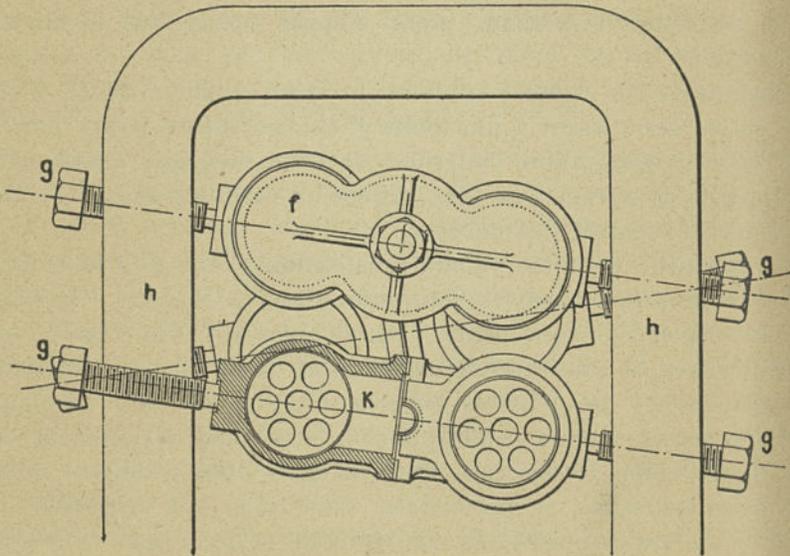
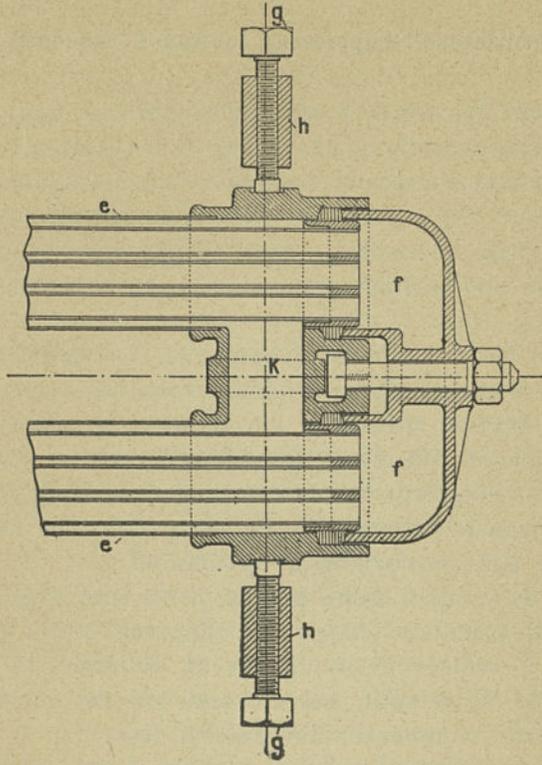


Fig. 238.

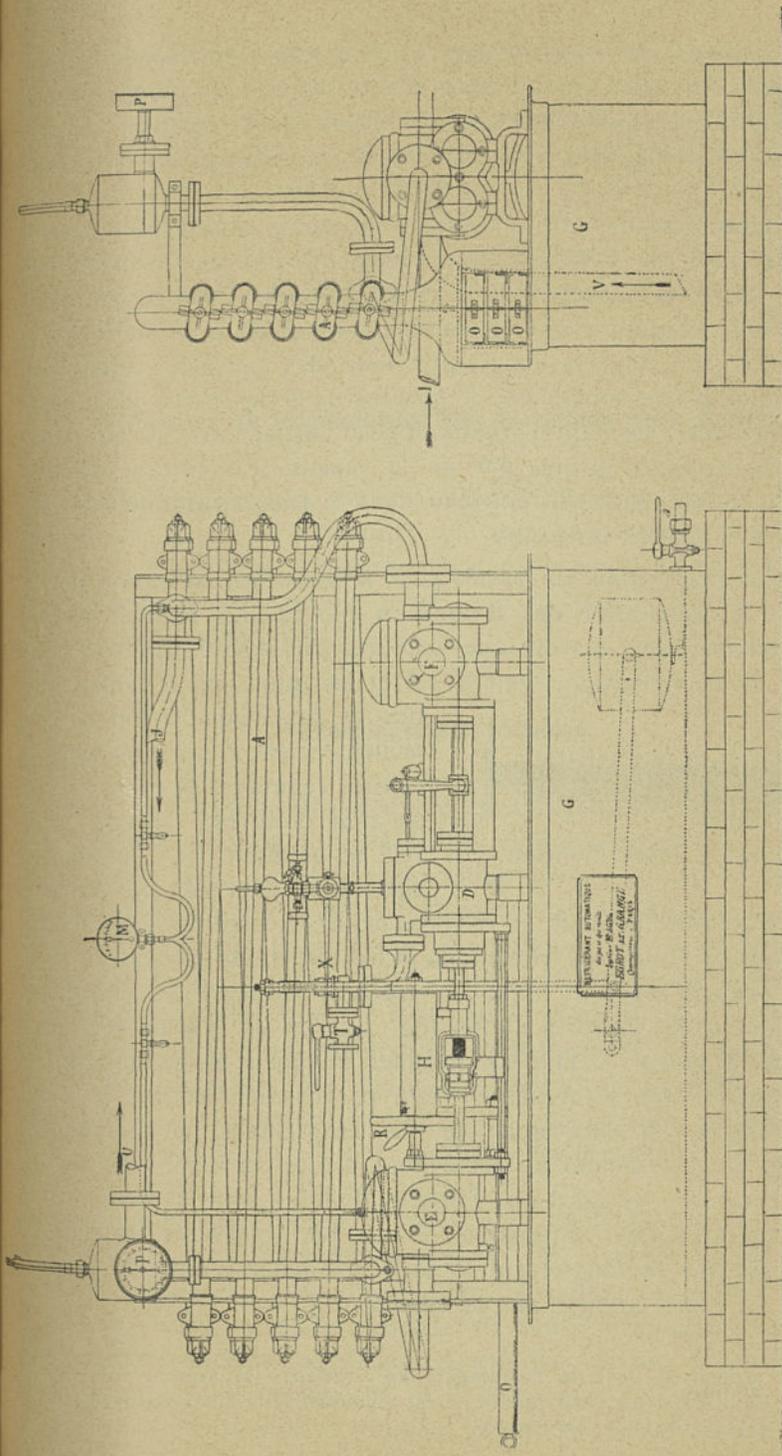


Fig. 239. — Réfrigérant Houdart-Egrot-Grangé. — A, faisceau tubulaire réfrigérant ; D, E, F, deux pompes montées sur une cuve métallique G, formant socle, qui reçoit le mout à refroidir, et comportant un dispositif destiné à retenir le mout débarassé des matières étrangères qu'il aurait pu entraîner ; E, pompe d'eau froide faisant circuler l'eau froide de bas en haut et F, pompe à mout faisant circuler le mout de haut en bas ; H, mécanique de réglage de la pompe. Le stérilisateur continu est construit sur le même modèle.

Cet appareil est d'un montage et d'un nettoyage faciles, il présente sous un petit volume une grande surface de contact et il fait prendre au liquide une grande vitesse de circulation, favorisant ainsi l'échange des températures et empêchant l'adhérence du tartre.

Le moût froid à stériliser entre à la partie inférieure du récupérateur en I et parcourt successivement, de bas en haut, les espaces entre les faisceaux et leurs enveloppes. Dans ce parcours il s'échauffe graduellement au contact du liquide déjà stérilisé qui circule en sens inverse de l'autre côté des surfaces tubulaires. Arrivé à la partie supérieure, il pénètre dans des tubes identiques aux précédents, formant l'organe appelé caléfacteur, et qui sont parcourus en sens inverse par de la vapeur. En sortant de ces tubes, le moût rentre de nouveau dans le faisceau tubulaire A et en sort à la partie inférieure.

Salle de préparation des levains pour le travail par les levures pures. — Pour la préparation des levains au moyen des levures pures, il est indispensable d'avoir une salle qui soit séparée du reste de l'atelier de fermentation, dont le sol et les murs soient imperméables et dans laquelle on puisse

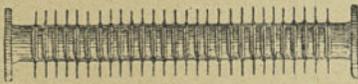


Fig. 240. — Tuyau à ailettes.

facilement entretenir une température régulière de 30° C. Le sol doit donc être cimenté, carrelé ou asphalté (1) : les murs, également cimentés ou carrelés

sur une certaine hauteur et recouverts sur le reste de leur surface de peinture à l'huile, de ciment ou de vernis émail. Quand on dispose de vapeur en tout temps, le meilleur système de chauffage est un tuyau de vapeur à ailettes (fig. 240). Si on n'avait constamment de la vapeur, il faudrait installer un poêle ou un calorifère.

Cet atelier doit naturellement être parfaitement éclairé et aéré, et être exposé au nord pour que la température ne monte pas par trop en été. Quand on est exposé à des variations brusques de température, les portes et fenêtres doubles sont à recommander. Quand cela est impossible, il est bon d'adosser l'atelier à levains suivant sa longueur à la salle des générateurs ; de l'autre côté, il est alors entouré par la cuverie.

(1) Le ciment se fendille facilement, les carrelages présentent des joints, l'asphalte se ramollit par l'eau chaude. C'est à l'industriel à choisir suivant chaque cas, le dallage le plus convenable.

Tous les vases à levains doivent être disposés pour un nettoyage facile. Les cuves en bois pour la préparation des grands levains doivent d'abord être soigneusement lavées à l'eau, puis avec un lait trouble de chlorure de chaux, et enfin derechef avec de l'eau pour enlever toute trace d'hypochlorite. Ces cuves doivent avoir une légère pente du côté de la vidange; le tuyau de vidange ne doit laisser dépasser à l'intérieur de la cuve aucun raccord ou manchette qui puisse empêcher le liquide de s'écouler complètement.

Difficultés de fermentation avec les moûts de betteraves.

445. La fermentation des moûts de betterave est parfois assez difficile : le moût ne s'échauffe que fort peu, l'abaissement de la densité est très lent, l'opération traîne en longueur et, finalement, le rendement est mauvais, parce que la transformation du sucre en alcool est incomplète.

Fermentation nitreuse.

446. L'accident le plus fréquent est celui qu'on désigne sous le nom de fermentation nitreuse. Le jus en fermentation se recouvre de bulles jaunâtres d'acide hypoazotique provenant de la décomposition de l'acide nitrique par l'hydrogène que dégage la fermentation butyrique. Pour éviter cet accident, la première chose à faire est donc de travailler très proprement afin de supprimer la fermentation butyrique. Il faut aussi, comme nous l'avons longuement expliqué, maintenir dans la batterie de macération ou de diffusion, ou dans les malaxeurs quand on travaille par les presses, une température aussi élevée que possible pour tuer, ou du moins fortement affaiblir, les ferments parasites qui existent dans les jus.

Quand la fermentation nitreuse s'est déclarée, le mieux à faire est évidemment d'arrêter le travail, de laver et de désinfecter tous les appareils avec du bisulfite de chaux, ou mieux du chlorure de chaux, puis de remettre en route en prenant toutes les précautions nécessaires : lavage soigné des racines, propreté minutieuse, etc.... Naturellement, il faudra, pour ce début de travail, supprimer l'emploi de la vinasse, faire subir à celle qu'on emploie

une stérilisation parfaite par un chauffage sous pression, car une vinasse provenant d'un mauvais travail entretiendra forcément une mauvaise fermentation, le passage dans la colonne étant insuffisant pour stériliser sûrement le liquide.

Pour atténuer ou même arrêter la fermentation nitreuse quand elle se présente sans que le travail soit fortement compromis, on conseille l'aération. Celle-ci peut agir de deux manières différentes : 1° En tuant le ferment butyrique qui est la cause du mal. 2° En annulant le pouvoir réducteur de l'hydrogène dégagé par l'action de ce ferment. On remarque que cette fermentation vicieuse se produit fréquemment quand le travail est arrêté et surtout dans les cuves incomplètement pleines et dans une salle mal aérée. Dans une salle bien aérée, les cuves pleines sont suffisamment aérées par surface pour empêcher que le milieu devienne fortement réducteur. Dans les cuves qui ne sont pas pleines, l'aération par surface est remplacée par celle que produit l'arrivée constante du moût aéré ; mais si l'alimentation de la cuve cesse, le manque d'air se fait sentir et le mal se déclare. Si on possède des cuves préparatoires d'une capacité suffisante, on peut continuer d'alimenter légèrement et éviter ainsi le mal.

Dans quelques distilleries, on a installé des tuyaux d'aération dans les cuves à fermenter ; c'est une grande complication dont nous ne sommes pas partisan. Avec une cuverie bien aérée et bien tenue, la fermentation nitreuse se produira rarement. On peut installer des tuyaux d'aération dans les cuves préparatoires, ou dans les cuves intermédiaires si on travaille par levains ; mais il vaut mieux ne pas en monter dans les cuves à fermentation.

Si une cuve devient malade et qu'on n'a pas de tuyautage d'aération à sa disposition, on peut toujours descendre dans cette cuve un petit tuyau perforé et injecter de l'air par une petite pompe à bras comme celle que les cyclistes désignent sous le nom de *pompe d'atelier*.

On peut aussi combattre la fermentation nitreuse par l'augmentation de l'acidité, mais ce moyen rentre dans le cas général de la lutte contre les ferments étrangers.

La présence d'une forte dose de nitrates dans les betteraves peut donner lieu à une fermentation difficile, sans que se produise l'accident dont nous venons de parler. L'azote sous la forme nitrique ne vaut rien pour la levure ; il peut donc y avoir manque de matière azotée assimilable.

Difficultés de fermentations provenant de la maturité incomplète des betteraves

447. Les moûts préparés avec des betteraves incomplètement mûres donnent souvent une fermentation lente à se développer et à s'achever. En mettant ces betteraves en silos pendant un mois ou deux, on constate que ces difficultés disparaissent, en sorte qu'elles semblent bien dues à un manque de maturité.

Cet inconvénient a surtout été signalé en 1895-96 dans les environs de Paris par MM. Caruchet et Arachequesne : « Des cuves en pleine fermentation, avec levures très pures au microscope, alimentées par des jus de betteraves arrachées avant les pluies, s'arrêtaient subitement dès que, dans le travail, on voulait leur substituer des betteraves arrachées pendant la période de pluies qui succéda à la longue sécheresse de la fin de l'été 1895. »

M. Arachequesne, trouvant que la façon dont tombaient les cuves indiquait la présence d'un antiseptique dans ces betteraves, émit l'hypothèse que cet antiseptique pourrait bien n'être qu'un mélange d'acides volatil, acétique et surtout formique, mis en liberté par l'acide sulfurique : Fremy père a constaté la présence de l'acétate de potassium dans la sève de presque tous les végétaux ; de même Commerson et Laugier en France, et von Lippmann en Allemagne, ont constaté l'existence de l'acide formique dans les betteraves non mûres.

On pouvait aussi se trouver en présence d'un acide organique fixe, également déplacé par l'acide sulfurique, par exemple l'acide oxalique, signalé dans les betteraves par les mêmes savants, et dont le pouvoir antiseptique est considérable.

MM. Caruchet et Arachequesne firent quelques essais qui établirent : 1° qu'après ébullition et refroidissement ces jus réfractaires fermentaient sans difficulté ; 2° qu'ils fermentaient bien également en les étendant d'eau pour diluer l'antiseptique qui pouvait être la cause du mal ; 3° qu'ils semblaient encore bien fermenter en les traitant par un lait de chaux pour éliminer l'acide oxalique.

Ces expériences prouvent que l'ébullition est un bon moyen pour faciliter la fermentation des jus provenant de ces betteraves, mais elles ne donnent aucune indication précise sur la cause du mal ; car une simple ébullition ne peut pas diminuer

d'une façon bien sensible la proportion d'acides gras, ni enlever l'acide oxalique.

M. Barbet a émis l'hypothèse d'une diastase saccharogénique (1) pouvant exister dans les betteraves non mûres et se trouver en conflit direct avec l'invertase de la levure qui est saccharophagique (2), et sans l'entremise de laquelle la fermentation du saccharose est impossible. Cette diastase serait très impressionnable au froid puisque dès la première gelée elle cesse de fonctionner; ce serait là une caractéristique de cette diastase. En soumettant au froid des jus d'une fermentation difficile, M. Barbet croit avoir constaté que les jus congelés l'emportaient sur tous les autres comme facilité de départ.

Cette influence du froid semble difficile à admettre, car des expériences faites à l'Institut Pasteur sur une série de solutions de diastases, il résulte que la congélation, même prolongée et accompagnée d'un froid intense, n'a aucune action sur aucune des diastases actuellement connues. Si donc la congélation préalable de la betterave ou du jus amène une amélioration à la fermentation, la cause de cette amélioration doit être cherchée ailleurs que dans la destruction d'une diastase.

Nous devons donc conclure de ce qui précède que si le remède aux difficultés de fermentation de betteraves non mûres est connu, la cause de ces difficultés est encore inconnue.

A propos de ces difficultés de fermentation, M. Barbet se demande pourquoi on ne peut pas faire la fermentation du jus de betteraves comme on fait celle des moûts de grain. « Pour ceux-ci, dès que l'on a mis le levain ou la levure délayée au fond d'une cuve de fermentation, on peut remplir brutalement la cuve avec le moût saccharifié; la fermentation se déclare toujours, quand même le nombre des cellules de levure serait peu important, par rapport au volume du moût.

« Avec la betterave, il faut bien se garder d'agir ainsi, car on tuerait la fermentation; et, chose qu'il faut noter tout de suite, on n'observe pas le même inconvénient avec la mélasse de betteraves, bien que son sucre soit cristallisable. D'où vient cette différence? D'où vient également que la mélasse puisse être fermentée à haute densité pour produire des vins à 7, 8 et même 10 p. 100 d'alcool, comme en Belgique, tandis qu'avec la betterave il est extrêmement difficile de dépasser 5 p. 100 d'alcool.

(1) Saccharogénique : engendrant du saccharose.

(2) Saccharophagique : consommant du saccharose.

» De ces diverses comparaisons, il faut absolument conclure que même lorsque la betterave est bien mûre, son jus contient certains principes contraires à la fermentation, qui n'existent plus dans la mélasse.

» Ces acides ne doivent pas être les acides organiques, puisque la mélasse en contient proportionnellement quatre ou cinq fois plus que la betterave. »

M. Barbet attribue encore cette différence à la diastase saccharogénique, en sorte qu'il finit par étendre à toutes les betteraves ce qu'il n'appliquait d'abord qu'aux betteraves non mûres.

Nous avons cité en entier ce passage de M. Barbet, parce qu'il contient des réflexions reproduites très souvent ; mais nous devons y faire les objections suivantes :

1° Il convient de ne pas confondre la fermentation des moûts clairs avec ceux des moûts troubles ; c'est une chose bien reconnue et dont il faut bien tenir compte : que la fermentation des moûts clairs se fait plus lentement et plus difficilement que celle des moûts troubles. Donc, toutes choses égales d'ailleurs, il faudra prendre plus de précautions avec les moûts clairs. On ne pourrait faire fermenter facilement des moûts clairs de mélasse, de grains saccharifiés par le malt ou par les acides, ayant une richesse saccharine aussi élevée que celle des moûts troubles des distilleries allemandes. Pour les mélasses, notamment, on n'y arrive qu'en les mettant en fermentation avec des levains troubles ou avec d'énormes quantités de levure comme le font les distillateurs belges.

2° Même avec les moûts troubles des grains, ce n'est pas tout à fait impunément qu'on emplit brutalement une cuve n'ayant reçu que son levain. Voyez les contre-maitres et directeurs allemands faisant de l'alcool par leurs méthodes à l'étranger, c'est-à-dire dans les pays où la fabrication est libre. Ils alimentent progressivement leurs cuves comme nous le faisons en France, et ils prétendent qu'ils y trouvent avantage. N'est-il pas évident que cet avantage se fera plus sentir avec les moûts d'une fermentation plus difficile comme les moûts clairs qu'avec les moûts troubles ?

3° Il est vrai que les mélasses contiennent proportionnellement plus d'acides organiques que les betteraves, mais ces acides ne sont pas les mêmes. L'acide oxalique notamment a été intégralement enlevé par le travail calco-carbonique en sucrerie, et il est donc très possible que cet acide joue un rôle dans la difficulté

qu'on éprouve à faire fermenter du jus de betterave à une densité aussi élevée que le jus de mélasse. Nous ne pensons pas qu'il suffise de faire bouillir un moût de betterave pour le faire fermenter à haute densité. Par contre nous pensons que si on pouvait en faire disparaître certains acides comme l'acide oxalique et d'autres acides organiques nuisibles à la levure, sans enlever en même temps les acides favorables à la fermentation (tartrique, citrique, etc.) et sans altérer les matières azotées; si, d'autre part, on pouvait y ajouter des *corps indifférents* jouant le même rôle que les drêches des moûts troubles, nous pensons, disons-nous, qu'on pourrait faire fermenter des moûts de betteraves aussi denses que les moûts épais des distillateurs allemands. L'expérience serait très difficile à réaliser, mais tout semble prouver qu'elle réussirait.

Précautions à prendre dans la pratique de la fermentation des jus de betteraves

448. La betterave arrivant à l'usine étant exempte de toute altération, condition indispensable pour un bon travail, si l'on a observé toutes les précautions que nous avons indiquées pour la conservation et le lavage, si les appareils d'extraction sont tenus dans le plus grand état de propreté, le jus obtenu ne contiendra qu'un nombre insignifiant de ferments étrangers et sera presque dans d'aussi bonnes conditions que s'il avait été stérilisé. Si, au contraire, la betterave est altérée en silos, si le lavage est incomplet ou qu'on n'ait pas apporté tous les soins de propreté voulus à l'extraction, le jus est souillé d'un grand nombre de ferments divers: bactéries, moisissures, levures sauvages (*S. apiculatus*, etc.), fausses levures (*torula*), *mycoderma*, etc. Tous ces ferments consomment du sucre et produisent au lieu d'alcool éthylique des produits divers qui sont des poisons pour la levure et qui rendent impur l'alcool produit. Si l'on introduit un peu de ce jus dans un ballon Pasteur ou un flacon d'Erlenmeyer stérilisé et qu'on l'abandonne dans un thermostat (étuve) à une température de 30° C, on s'aperçoit, en examinant le liquide au microscope, au bout d'un jour ou deux, qu'il est en pleine fermentation et que les ferments cités plus haut y pullulent.

C'est surtout lors de la mise en route à l'usine qu'il faut redoubler de précautions pour éviter cet inconvénient.

La betterave, n'ayant pas passé par les silos, est alors généralement très saine et on a eu le temps voulu pour la laver à fond : mais les appareils d'extraction ne sont pas toujours dans l'état de propreté voulu.

Pendant les neuf mois de chômage, des poussières se sont déposées dans tous les appareils, les ferments provenant de ces poussières se sont ajoutés à ceux qui, malgré les nettoyages et les badigeonnages, sont restés dans les coins à la fin de la campagne précédente, et, même avec des soins inouïs, il est impossible de laver à fond et de stériliser tout le matériel. Comme il est très difficile au début du travail d'avoir un jus exactement à la densité, à la température et à l'acidité convenables, la levure mise dans ces jus ne développe que lentement la fermentation, en sorte que les mauvais ferments se sont déjà fortement développés avant que la levure soit devenue maîtresse du milieu.

Lors de la mise en marche d'une distillerie, les appareils sont aussi souvent recouverts d'oxydation, rouille et vert de gris.

Les oxydes de fer et de cuivre se dissolvent dans les jus acides et donnent ainsi des sels qui agissent défavorablement sur la levure et contrarient encore son développement.

Pour éviter les ennuis et les pertes d'argent qui peuvent résulter de ces accidents, il faut débarrasser aussi complètement que possible les appareils de la rouille et du vert de gris qui les recouvrent en certains endroits. On commence d'abord par les nettoyer à fond avec une brosse à fils d'acier, puis on les lave avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique pour décaper complètement, on enlève la majeure partie de l'acide par des rinçages à grande eau, et enfin on lave encore les parties en fer ou en fonte avec une solution alcaline faible, puis derechef avec de l'eau.

Toutes les parties accessibles des appareils en fer ou en fonte doivent recevoir une ou deux couches de peinture au minium avant la mise en route : c'est le plus sûr moyen d'éviter à la fois les ennuis provenant de la rouille et des ferments dangereux.

Le matériel le plus facile à entretenir en état de propreté est celui de la diffusion. Comme on peut y maintenir des températures de 65 à 80° C, le développement des ferments étrangers y est difficile.

Il faut particulièrement surveiller la propreté du coupe-racines, dont le plateau doit être peint.

Tous les diffuseurs et les bacs jaugeurs doivent être nettoyés à fond.

Avec la macération, qui ne possède généralement aucun chauffage, il arrive quelquefois que par suite d'un petit accroc il faille arrêter la batterie et que la température baisse vers 45-50° C ; cette température étant favorable aux ferments lactique et butyrique, le jus se contamine dans les diffuseurs, et l'on éprouve de grands ennuis à la fermentation, surtout si le lavage a été défectueux, ce qui arrive trop souvent dans les petites usines.

La fermentation butyrique se manifeste par de petites bulles qui viennent crever à la surface du liquide contenu dans les macérateurs, en répandant une odeur facile à reconnaître. Lorsque cet accident se produit, il faut sans hésiter sacrifier tout le contenu du macérateur, le laver à fond à l'eau bouillante, le badigeonner avec un mélange de lait de chaux et d'hypochlorite, puis à l'eau.

Quant au matériel des presses, il est difficile à bien nettoyer, mais par contre il peut s'arrêter assez facilement en cas d'accident. Les presses restent pleines, il est vrai, mais comme la pulpe est acide et que le temps d'arrêt est généralement restreint, cet arrêt ne présente pas grand danger.

Différences que présente la fermentation des jus de betteraves suivant le mode d'extraction.

449. Jusqu'ici nous avons parlé de la fermentation des jus de betteraves sans nous occuper du mode d'extraction des jus; ce mode d'extraction exerce cependant une certaine influence sur la fermentation.

Dans le travail, on constate généralement, en pratique, qu'à égalité de soin, les jus qui fermentent le plus facilement sont ceux produits par les presses, que les jus provenant de la macération ou de la diffusion à la vinasse fermentent un peu moins bien que ceux des presses et qu'enfin, les jus les plus difficiles à fermenter sont ceux provenant de la diffusion à l'eau. A quoi faut-il attribuer ces différences? Pour prendre les deux cas où celles-ci se manifestent le mieux, en quoi diffère l'extraction par presses de l'extraction par diffusion à l'eau. Dans le premier système le jus est extrait par voie mécanique et le liquide qu'on obtient a réellement, au moins au point de vue qualitatif, la composition du jus naturel de la betterave; dans le second, au

contraire, le jus est extrait par voie osmotique, c'est-à-dire qu'on enlève complètement les composés cristalloïdes de la betterave, tandis que les composés colloïdes restent en majeure partie dans les cossettes. Or, dans la diffusion à l'eau, la fermentation est généralement assez lente parce que la levure ne se reproduit que péniblement. Il faut donc admettre que pour ces composés plus ou moins colloïdes, il en existe qui ont une certaine valeur pour la nutrition et la reproduction de la levure. Quels peuvent être ces composés? Au chapitre VII nous avons longuement exposé la composition en matières azotées de la betterave, et nous avons vu que cette plante renferme de nombreux composés azotés qui sont d'excellents aliments pour la levure. Nous avons vu également que l'albumine et la légumine qui passent dans le jus avec le travail par les presses, restent au contraire en majeure partie dans les cossettes de diffusion, parce qu'elles se coagulent à la température supérieure à 70° à laquelle on opère la diffusion, ou par l'action de l'acide. Si l'albumine (ou la légumine) était une matière azotée précieuse pour la levure, l'infériorité du jus de diffusion à l'eau serait tout expliquée; mais nous avons dit, au contraire (166-388) que l'albumine telle quelle, n'a pas grande valeur pour la levure. L'infériorité des jus de diffusion à l'eau par rapport au jus des presses, au point de vue de la nutrition et de la reproduction de la levure, ne peut donc s'expliquer que par l'une des deux hypothèses suivantes :

1° Les matières azotées considérées comme utiles à la levure (asparagine, glutamine, bêtaine, leucine, tyrosine, lécithine, xanthine, guanine, hypoxanthine, adénine, carnine, arginine, guanidine, allantoiné) ne possèdent qu'un faible pouvoir osmotique et sont en majeure partie perdues dans les cossettes. Nous avons dit (373) que la tyrosine reste, jusqu'à la fin, dans les cossettes. Il est certains en tout cas que ces matières azotées ont un pouvoir osmotique bien plus faible que le sucre.

2° Les matières azotées coagulables (albumine, légumine), subissent dans le travail des presses une peptonisation (121-122, a, b — 385) qui ne se produit pas (c'est une hypothèse) dans le travail par diffusion.

De ces deux hypothèses, c'est la première qui nous paraît avoir le plus de chances d'être la vérité; mais il est possible également qu'il se produise une légère peptonisation dans le travail par les presses.

Quoi qu'il en soit, il est certain que la reproduction de la levure souffre de l'absence de certaines matières azotées dans le jus de diffusion. Nous avons vu que la rentrée de la vinasse facilite le travail de la fermentation, et que, pour cette raison, elle est d'un emploi presque général aujourd'hui. Ce fait ne peut provenir que de ce que la vinasse apporte dans le jus des matières azotées utiles à la nutrition de la levure (121-150-167-388, a), car, au point de vue microbiologique, la vinasse est plus dangereuse qu'utile par suite de la contamination qu'elle entretient quand on ne travaille pas avec beaucoup de soins.

Nous avons dit, en effet, que la vinasse sortant des colonnes à distiller n'est pas complètement stérilisée; pour opérer sûrement cette stérilisation, il faudrait cuire la vinasse sous pression, comme dans les fabriques de levures pressées; mais ce travail ne se fait pas. Il faut donc, en employant la vinasse, travailler avec de grands soins de propreté. Dès que la pureté microscopique des moûts laisse à désirer, il faut, non pas augmenter l'acidité comme on le fait souvent, mais supprimer provisoirement l'emploi de la vinasse, redoubler de soins de propreté, puis reprendre l'usage de la vinasse aussitôt que les moûts sont plus purs.

L'emploi d'une levure peu exigeante en matières azotées présente dans ce cas de sérieux avantages; les levures de vin sont, à ce point vue, tout indiquées. Les levures de vin qui ont le mieux réussi sont les plus sobres.

Avec ces levures on pourra restreindre l'emploi de la vinasse, ce qui diminuera les dangers de contamination; mais il faudra travailler avec beaucoup de soins et stériliser une partie du mût aussi grande que possible, c'est-à-dire faire de grands volumes de levain au mût stérilisé et à la levure pure.

Conduite de la fermentation des moûts de betteraves

450. Quel que soit le procédé d'extraction employé, la densité, la température et l'acidité des jus envoyés à la fermentation, doivent toujours être régulières. Pour atteindre sûrement ce résultat avec la macération ou avec les presses, on installe fréquemment entre les appareils extracteurs et les cuves à fermentation, deux cuves intermédiaires dites cuves préparatoires. En ce qui concerne l'usage de ces cuves nous ne pouvons mieux faire que de citer les lignes qui suivent, dues à la plume de M. Durin.

« Dans les distilleries agricoles, une contenance de 25 à 30 hectolitres pour chacune des cuves suffit largement; le jus sortant des macérateurs et refroidi, arrive dans l'une des deux cuves: quand elle est pleine, on envoie le jus dans la seconde. Pendant qu'elle s'emplit, on titre l'acidité du jus de la première; si on a assez d'eau à sa disposition, on place dans ces cuves un serpentin dans lequel on fait circuler de l'eau froide, si le jus est trop chaud, pour amener ce jus à une température convenable.

On a ainsi constamment un jus mélangé, ayant toujours l'acidité et la température nécessaires: si, pour doser l'acidité du jus, on prend des échantillons au coulage des macérateurs, on a des variations énormes suivant l'état d'épuisement des macérateurs: il est évident que le premier jus s'écoulant des cuves rempli de cossettes fraîches, imbibées d'acide sulfurique, sera plus acide que le jus coulant ensuite. On peut ainsi corriger les défauts de l'acidification et savoir exactement ce qu'on fait: on comprend facilement que sans cuves préparatoires on ne peut corriger immédiatement une acidité défectueuse, ni ajouter au jus la quantité d'acide qui lui manque, à moins d'augmenter empiriquement l'acidité sulfurique sur les cossettes; on ne saura jamais si on a atteint exactement la quantité utile, et, en tous cas, il faudra un certain temps pour que cette addition nouvelle d'acide ait produit son effet sur l'acidité générale du jus. »

On reproche aux cuves préparatoires l'inconvénient d'exiger une batterie placée à une certaine hauteur au-dessus du niveau du sol.

Entre les appareils d'extraction et les cuves de fermentation on installe généralement un réfrigérant. Comme système de réfrigérant, nous accorderons volontiers la préférence au genre Lawrence, mais à grandes ondulations de façon à faciliter le nettoyage de la surface intérieure au moyen d'une brosse.

Les réfrigérants ouverts ou à l'air libre présentent l'avantage d'aérer notablement le moût en même temps qu'on le refroidit.

Aération des moûts.

451. Dans une note intitulée « Le contrôle chimique de la distillerie agricole », M. Sidersky nous apprend d'abord qu'il a réussi à remettre en marche une fermentation arrêtée, par la simple aération de la cuve au moyen d'énergiques coups de mouveron, mais

que ce procédé n'est pas rationnel parce que cette aération rendrait le ferment paresseux par suite d'un excès d'air.

« Il est bien préférable, continue M. Sidersky, d'aérer le jus alimentaire avant son arrivée dans la cuve afin d'y dissoudre de grandes quantités d'oxygène, dont le ferment alcoolique a besoin pour son existence. C'est ainsi qu'à la macération en vases ouverts, l'aération est bien plus grande qu'à la diffusion où le travail est effectué en vases clos.

» Partout où j'ai trouvé une aération insuffisante, la fermentation marchait mal, les ferments lactiques et butyriques se développaient à vue d'œil et l'acidité des cuves augmentait rapidement ».

Nous avons cru indispensable de citer ce passage pour mettre les distillateurs en garde contre les principes faux qu'énoncent ainsi certains auteurs qui se réclament de Pasteur et de Duclaux, tout en foulant aux pieds les travaux de ces savants.

Ce passage ne contient que des contradictions et est la négation de toute la microbiologie.

Le manque d'air ne peut ainsi faire développer à *vue d'œil* des ferments lactiques et butyriques. Si le fait se produit, il faut commencer par supprimer ces ferments en travaillant plus proprement.

Il est du reste impossible à un distillateur de savoir en lisant ce passage, s'il doit aérer ou non. D'un côté en aérant *par de simples coups de mouveron*, on peut ressusciter un mort et de l'autre on peut tuer un vivant !

Mais ceci ne doit pas nous surprendre de la part de celui qui écrit aussi les lignes suivantes :

« Le manque d'aération amène quelquefois la fermentation nitreuse. Elle a pour cause la réduction par l'hydrogène contenu dans la betterave (il faut probablement lire... par l'hydrogène *des nitrates contenus* dans la betterave) (1); c'est donc la production d'hydrogène qui préside à cette décomposition. L'hydrogène prend naissance par le contact des jus acidulés avec la paroi métallique d'un diffuseur, d'un conduit, etc.; si ce dégagement gazeux se produit en vases clos, il décompose le nitrate, transforme la glucose en mannite, etc., et produit ainsi, des fermentations

(1) Ce petit mémoire a déjà été publiquement critiqué. L'auteur, chimiste de sucrerie, n'ayant pas la moindre notion de microbiologie, n'a vu dans cette critique que l'œuvre d'une rancune et, 4 ans après, a reproduit textuellement son mémoire, sans en supprimer les erreurs grossières qui s'y rencontrent à chaque page.

vicieuses de nature compliquée (sic) que l'on reconnaît souvent par une odeur caractéristique ».

L'hydrogène engendrant des fermentations vicieuses ! Peut-on concevoir plus profonde ignorance ?

Le même auteur écrit encore : « Au-dessus de 30° C, ce sont les ferments lactiques et butyriques qui se développent rapidement. En s'arrangeant pour ne point dépasser la température de 30° C, on a beaucoup de chances d'atténuer dans une large mesure l'action des ferments étrangers ».

Tout cela est absolument faux ! Un moût contaminé ne fermentera pas mieux en-dessous de 30° C qu'au-dessus de 30° C. C'est à produire des moûts purs qu'il faut appliquer toute son attention ; une température de 32, 33° C, ne peut pas compromettre la fermentation.

M. Sidersky prétend avoir reconnu « que dans toutes les bonnes fermentations du jus de betteraves, l'acidité minérale libre est d'environ deux fois plus grande que l'acidité due aux acides organiques mis en liberté. Il n'y a dans ce cas aucune production d'acides lactiques et butyriques. Ce rapport est constant, quelle que soit la nature de la plante, le procédé d'extraction, etc. »

On voit encore une fois que les enseignements de la microbiologie sont lettre morte pour M. Sidersky. D'après lui on peut avoir d'excellentes fermentations avec des betteraves altérées, mal lavées et traitées dans des appareils quelconques ! C'est exactement le contraire de ce que nous avons longuement exposé. Au lecteur de juger de quel côté se trouve la vérité.

Quand il y a excès d'acidité dans un jus ou dans une vinasse, il y a un moyen bien simple de savoir s'il y a oui ou non excès d'acide minéral. Il n'y a tout simplement qu'à doser l'acidité volatile du milieu ; tant que cette acidité volatile est très faible, il ne peut y avoir excès d'acidité organique, car les acides volatils, l'acide formique, l'acide acétique, l'acide butyrique, sont les seuls acides organiques nuisibles.

Et c'est en soignant la propreté de la betterave, du matériel d'extraction, la levure employée, etc., qu'on arrivera à remettre la fermentation en bonne marche, et non en modifiant la proportion d'acide employée ; c'est une chose qu'on ne saurait trop répéter au distillateur, et il est dangereux de lui enseigner qu'il suffit de modifier les acidités pour avoir un bon travail.

CHAPITRE XXIV

Fermentation des moûts de mélasse.

Etat des moûts arrivant à la cuverie.

452. L'addition d'acide sulfurique a détruit l'alcalinité de la mélasse et l'a remplacée par une légère acidité.

La mélasse renferme une forte proportion de sels organiques à base de potasse et de soude ; l'acide sulfurique s'empare de ces bases et met les acides organiques en liberté.

Le chauffage et l'insufflation d'air chassent la majeure partie des acides volatils toxiques pour la levure, en même temps que se produit une stérilisation presque complète à une température de 102-103°.

Comme nous l'avons dit, il faut éviter de caraméliser du sucre pendant cette opération ; il en résulterait non-seulement une perte, mais encore un moût moins favorable à la fermentation.

Si on charge du moût à une densité de 107 (19° 1/4 Balling = 10°,7 Baumé), renfermant par litre 270 gr. de mélasse à 40° Baumé et qu'on veuille avoir une acidité de 1 gr. 40 (exprimée en SO^4H^2) par litre de moût, il faudra avoir une acidité pondérale de $\frac{1.40 \times 100}{270} = 0 \text{ gr. } 53$ par 100 gr. de mélasse à 40° Baumé.

Comme 1 litre de mélasse à 25° Baumé pèse 1210 gr., et représente 760 gr. de mélasse à 40° B, l'acidité du moût soumis à la stérilisation est de $0,53 \times \frac{760}{100} = 4 \text{ gr. par litre.}$

Dans un liquide dilué et très mobile, une telle acidité, en majeure partie due à des acides organiques, ne présenterait aucun danger ; mais dans un liquide visqueux comme la mélasse, une caramélisation se produit facilement aux endroits où arrive la vapeur. Dans ce cas il peut y avoir intérêt, après avoir fait le calcul de l'acide, à n'ajouter d'abord que les 2/3 de la quantité voulue et à ne mettre le reste qu'après le refroidissement. Dans tous les cas, il faut maintenir la masse bien en mouvement, ne

chauffer que lentement et avec une vapeur à une tension modérée, et au besoin ne pas dépasser une température de 90°, car certaines mélasses ont une grande tendance à se caraméliser.

Nous savons que dans quelques distilleries on stérilise les mélasses sans aucune addition d'eau ; mais nous savons aussi que cette manière d'opérer serait dangereuse dans un grand nombre de cas et qu'elle n'est pas à conseiller d'une façon générale.

Même pour des mélasses ne renfermant pas d'acides volatils, il importe d'avoir une légère acidité dans le moût à stériliser, parce que la stérilisation est beaucoup plus difficile en terrain neutre qu'en milieu alcalin.

Après stérilisation le moût est refroidi. Quelle est à ce moment la répartition des bases potasse et soude entre les divers acides. On ne peut le savoir à priori ; mais comme après un chauffage qui dure parfois une heure à une température de 100° et avec une acidité parfois assez forte, on ne constate jamais qu'une très faible inversion du sucre, on en conclut que les acides en liberté sont des acides organiques dont le pouvoir inversif est, comme on le sait, très faible.

Ce qui confirme cette manière de voir, c'est que l'on peut très bien faire fermenter des moûts avec des acidités de 3 à 4 g. par litre, tandis qu'une solution de sucre pur fermente difficilement avec 0 g. 5 d'acide sulfurique par litre.

D'après ce qui précède, le chauffage de la mélasse acidifiée n'a nullement pour but d'invertir le sucre comme on peut le lire encore dans quelques ouvrages. La quantité de sucre inverti est très faible, et cette inversion, si elle n'est pas inutile, n'est du moins pas nécessaire. La sucrase de la levure suffit amplement à invertir le sucre nécessaire à la consommation des cellules, pourvu que la température soit au moins de 15 à 25°, condition qui est toujours réalisée ; la fermentation ne doit pas s'arrêter avant terme faute de sucre inverti, car la sucrase agit encore après la mort de la levure ; les cellules mortes cèdent même plus facilement que les cellules vivantes leur sucrase au liquide environnant.

L'action inversive de ce ferment paraît illimitée ; une dose de sucrase ayant dédoublé 100.000 fois son poids de saccharose conserve encore son activité (1).

(1) Thomson et Brown. Chemical news.

On n'a pas à craindre, non plus, que l'action de la *sucrase* soit entravée par les antiseptiques qu'on pourrait employer à la fermentation, car les ferments solubles sont beaucoup plus résistants à l'action des antiseptiques que les ferments vitaux. Le fluorure de sodium à la dose de 1 p. 100 arrête instantanément les fermentations vitales ; 0,3 p. 100 arrête déjà la fermentation alcoolique, tandis que les fermentations solubles (*sucrase*, etc.), conservent en présence du fluorure de sodium leur activité ; ils ne sont pas détruits par le fluorure à 1 p. 100, même à 40° C, après plusieurs mois.

C'est une loi générale, dit M. A. Gauthier, que l'activité des ferments solubles n'est pas annihilée par les antiseptiques ou toxiques quels qu'ils soient. La pepsine digère la viande en présence de l'alcool, de l'acide salicylique et même dans un milieu renfermant 5 p. 100 d'acide cyanhydrique ; la *sucrase* présente la même résistance.

Mise en fermentation des moûts de mélasses

453. La mise en fermentation des moûts de mélasse peut se faire :

1° Directement par une levure, telle que la levure de bière liquide ou pressée ;

2° Par des levains préparés avec de la mélasse ;

3° Par des levains préparés avec des moûts de grains.

Nous allons examiner ces différents cas :

1° *Mise en fermentation directement par une levure.* — On met dans une cuve à levain de 50 hectos, 150 kil. de levure liquide et on l'emplit progressivement de moût après avoir bien délayé la levure. Quand la fermentation est en pleine activité dans cette *cuve-mère*, on la vide dans une grande cuve de 4 à 600 hectos, par exemple, qu'on achève de remplir en 6 à 8 heures avec du moût à la densité et à la température convenables.

La dose de levure employée dans ce système est d'environ 3 p. 100 du poids du sucre et la densité de chargement ne dépasse généralement pas 107,5.

On peut aussi *faire le pied* directement dans les cuves à fermenter, mais ce système est moins commode et moins propre, car il est plus facile de bien tenir propre une petite cuve de

50 hectos placée en charge sur les grandes cuves que celles-ci, dans lesquelles il se produit toujours des infiltrations pendant qu'elles sont vides, alors que les autres, communiquant avec elles par des tuyautages, sont pleines.

Nous ne parlerons pas ici du système de fermentation continue ; ce mode de travail, bon pour les jus de betteraves, est irrationnel avec les moûts de mélasse, parce que la levure dégénère rapidement dans ces moûts.

En Belgique, par suite du système d'impôt basé sur la capacité des cuves, le distillateur était obligé de faire fermenter en 24 heures des moûts très denses sans aucun levain ; aussi employait-on des quantités de levures vraiment fantastiques.

On chargeait environ 35 kil. de mélasse à 40° Baumé par hectolitre et on produisait la fermentation par l'addition de 10 % de levure du poids de mélasse ! Ce système a été abandonné depuis la nouvelle loi, imposant, comme en France, le produit fabriqué, c'est-à-dire l'alcool.

La mélasse étant pauvre en matières nutritives pour la levure, on peut diminuer la proportion de levure nécessaire en ajoutant au moût certains produits renfermant des matières facilement assimilables par la lev :

Un produit qui est employé dans ce but dans plusieurs usines et donne de bons résultats est la nutritine de M. Martinand. Tandis que la malto-peptone est, contrairement à ce qu'indique son nom, plus riche en amides qu'en peptones, la nutritine est plus riche en peptones qu'en amides ; elle est donc inférieure à la malto-peptone pour les levures de vin, mais elle lui est supérieure pour les levures de bière, qui préfèrent les peptones.

2° *Mise en fermentation avec levains de mélasse.* — La mélasse employée à la confection des levains doit naturellement être saine et de bonne qualité ; il serait bon d'avoir toujours en réserve une certaine quantité d'excellente mélasse destinée aux levains.

Ici il est indispensable d'ajouter une matière nutritive riche en matières azotées et en acide phosphorique.

D'après Wijsmann, c'est l'extrait de malt qui est de beaucoup la substance la plus propre à l'alimentation azotée de la levure ; il est même supérieur à l'asparagine qui est pour elle le meilleur principe azoté. Mais le malt coûte fort cher ; aussi le remplace-t-on par les germes de malt qui proviennent des malteries ou brasseries, que l'on trouve partout à très bon compte.

Les germes de malt présentent en moyenne la composition suivante :

Eau	10,10
Matières azotées.	24,20
» non azotées	42,10
» grasses	2,10
Cendres	7,20
Cellulose	14,30
	100,00

Les germes eux-mêmes sont d'un emploi très incommode, dans l'eau ils gonflent considérablement ; le liquide obtenu n'est pas homogène et il bouche tous les tuyautages par lesquels on essaie de le faire passer.

On trouve maintenant dans le commerce des extraits de germes de malt préparés en concentrant le liquide obtenu par l'épuisement méthodique des radicules ; pendant la concentration dans le vide jusqu'à consistance sirupeuse, on ajoute de l'acide tartrique et du phosphate d'ammoniaque. Ces extraits sont employés en Angleterre pour augmenter la teneur en extrait sec des moûts de bière. M. Kayser en a conseillé l'emploi pour la fermentation de l'hydromel, à raison de 150 cc. par hectolitre de moût miellé. La malto-peptone spéciale pour les boissons fermentées se vend 1 fr. 50 le kilo.

MM. P. Thomas et G. Warcollier ont fait, au laboratoire de l'Institut Pasteur, l'analyse d'un lot de malto-peptone provenant de MM. O. Bataille et C^{ie}, à Puiseux (Aisne). Ils ont trouvé la composition suivante (1) :

MALTO-PEPTONE		CENDRES	% DE CENDRES	% DE MALTO-PEPTONE
Matières extractives.	48,46	Potasse	41,10	3,67
Acidité en acide tartrique	3,06	Chaux.	5,13	0,40
Sucre réducteur (en glucose).	14,42	Magnésie.	4,52	0,35
— (en maltose).	21,62	Acide sulfurique	18,75	1,46
Azote total.	2,42	— phosphorique	18,62	1,45
Matières azotées correspondantes	15,11	Silice	0,45	0,0035
Cendres	7,80	Fer.	traces	»

(1) Annales de la brasserie et de la distillerie, N° 8, 1898.

La réduction n'est pas due à des matières azotées ou gommeuses, car en soumettant le liquide à la dialyse, le liquide resté dans le dialyseur n'avait conservé aucun pouvoir réducteur. A peu près la moitié seulement du sucre est fermentescible ; le reste est probablement constitué par des pentoses provenant de l'hydrolyse des matières cellulosiques des touraillons, lors de sa préparation.

L'azote se trouve sous les formes suivantes :

Azote ammoniacal.	0,138
Azote albuminoïde	0,949
Azote amidé.	1,331
	<hr/>
Total.	2,418

Plus de la moitié de l'azote est donc sous la forme d'amides, la forme d'azote organique qui convient le mieux à la levure.

Pour la distillerie, on prépare une malto-peptone en épuisant les germes du malt par l'eau additionnée de soude dans une batterie de macérateurs, concentrant la solution et l'additionnant de substances antiseptiques.

Ces produits se conservent assez bien à l'abri de l'air ; au contact de l'air, ils se couvrent assez rapidement de moisissures, qui ne sont du reste pas fort dangereuses, ces microorganismes étant facilement tués par la chaleur.

On voit que la malto-peptone est une matière riche en azote assimilable et en sels minéraux nutritifs, phosphates de potasse et de magnésie.

La préparation des levains de mélasse se fait exactement comme celle des levains de betterave.

On prend du moût de mélasse préparé dans l'usine ou préparé à part si le produit que l'on travaille laisse à désirer. Ce moût étant amené à une densité de 106 à 108, on en emplit le grand vase à levain (de 10 à 15 hectos) ; on ajoute la malto-peptone, on chauffe en injectant de la vapeur, puis on met le couvercle muni de ses accessoires en place.

Quand la température cesse de monter, on ne laisse plus passer qu'un filet de vapeur pour maintenir une légère ébullition pendant 5 à 10 minutes, après quoi l'on ferme le robinet complètement.

Pour refroidir, on ouvre le robinet du barboteur d'air filtré et on fait couler l'eau sur le couvercle ou par le tuyau annu-

laire à ruissellement ; dans ce dernier cas, on s'assure qu'il y a de l'eau dans la rigole pour empêcher la rentrée de l'air extérieur.

Quand la température est descendue à 35° C environ, on soulève le couvercle, on introduit la levure et on remet le couvercle en place. On continue ensuite le refroidissement jusqu'à la température de 28 à 30° C, suivant la température extérieure et le degré d'activité de la levure.

Pendant toute la durée de la fermentation de ce levain, on maintient une légère insufflation d'air qui favorise la prolifération de la levure.

Quand il s'agit d'employer une levure qui met un long temps à se réveiller, on fait ce réveil dans de petits vases ayant 60 à 80 litres de capacité utile et ne portant aucun tuyau de vidange.

On stérilise le vase de réveil en injectant de la vapeur par le barboteur d'air, qu'on réunit dans ce but, par un raccord, à un tuyau en caoutchouc placé sur une petite prise de vapeur. On arrête la vapeur, on vide l'eau chaude qui s'est condensée, puis on emplit le vase qu'on transporte à bras ou au moyen d'un petit chariot sous le robinet latéral que porte le vase de 10 hectos.

On ensemece la levure à réveiller, on met le couvercle en place, on coule de l'eau dans la rigole et on fait passer un peu d'air comme nous l'avons expliqué précédemment.

Quand la levure a complètement envahi le moût, ce qu'on reconnaît en examinant au microscope une goutte de moût prélevée au bout du thermomètre, on déverse le levain de réveil dans le petit levain en s'aidant d'un petit treuil ou d'un petit palan.

Lorsque la densité du levain de 10 hectos est tombée de moitié, on l'ensemece dans les cuves de 50 hectos qu'on emplit successivement de moût de mélasse à 25° C en deux ou trois charges successives à deux heures d'intervalle.

En employant du moût ayant subi une stérilisation parfaite à l'autoclave, on peut établir une fermentation continue dans les cuves de 10 hectos de la salle à levains ; on peut de cette façon travailler longtemps avec la même levure.

Comme le moût de mélasse, riche en sels, se caramélise facilement par une stérilisation à 120°, il nous semble préférable de remplacer, dans les levains de 10 hectos, la mélasse par un moût de maïs saccharifié à l'acide chlorhydrique. On pourrait tout au moins substituer le maïs à la mélasse pour les levains de réveil si la levure est lente à se réveiller.

Nous avons pratiqué ce système et nous connaissons des distillateurs qui en sont très satisfaits.

La fermentation continue ne doit, pour la mélasse, s'appliquer qu'aux moûts ayant subi une stérilisation parfaite.

Comme il faut, dans les grandes cuves, mettre chaque fois, un levain nouveau, le travail des levains doit être organisé par périodes exactes de 4 ou 6 heures suivant le nombre de cuves que l'on veut faire, et l'on doit tenir la main à ce que les opérations se fassent exactement aux heures indiquées.

Quand la densité est tombée d'environ les $\frac{2}{3}$ dans les cuves de 50 hectos, on vide celles-ci dans les grandes cuves à fermentation ; la température du liquide doit être de 30 à 33° C environ. On coule ensuite dans ces cuves du moût de mélasse à une densité variant de 106 à 109 et à une température de 18 à 24° C.

3° *Mise en fermentation par des levains préparés avec des moûts de grains.* — Le moût de grains qu'on emploie peut être préparé au moyen d'une saccharification par les acides ou au moyen d'une saccharification par le malt.

a) *Saccharification par les acides.* — Quand on saccharifie par les acides, c'est généralement le maïs qu'on emploie. Quand ce grain n'est pas cher, il est très avantageux de l'employer, car le moût de maïs se prête très bien à la préparation des levures pour mélasses. Le moût-levain préparé par la saccharification du maïs présente de sérieux avantages : 1° Il est riche en matières azotées et en phosphates, rendus assimilables par le traitement à l'acide chlorhydrique ; 2° Il a subi une stérilisation parfaite ; 3° Les drèches qu'il renferme en suspension favorisent la fermentation.

Le moût-levain de maïs se prépare comme nous l'avons expliqué au chapitre de la saccharification par les acides.

On saccharifie à l'air libre ou sous pression. Si on opère sous pression, il est avantageux d'employer un petit malaxeur en bois, comme celui que nous avons décrit, pour empâter le gruau de maïs avant de le verser dans le Krüger. La cuisson préalable n'est pas à conseiller. On ne doit pas saccharifier à plus de 2 k. de pression.

Le refroidissement après saccharification doit naturellement être fait avec les précautions nécessaires pour éviter toute contamination. Un réfrigérant Lawrence placé dans une salle parfaitement aérée et propre, comme nous l'avons dit en parlant du refroidissement du moût de mélasse, est d'un bon emploi. Il doit

être installé en dessous de la cuve à neutraliser, ainsi que nous l'avons expliqué à propos des moûts saccharifiés par les acides.

Quand on ne travaille que de très petites quantités de maïs, le mieux est de refroidir dans le vase à levure de 8-10 hectos. Si ce vase est en cuivre, on coule simplement de l'eau sur le couvercle ; s'il est en bois, on refroidit par un serpentín placé à l'intérieur. On neutralise, refroidit et fermente dans le même vase. La neutralisation doit se faire avec de la chaux récemment cuite ; le carbonate de chaux est généralement souillé de micro-organismes.

Le moût doit accuser une densité de 104 à 105 (12-13 kil. de maïs par hecto) et une acidité d'environ 1 gr. par litre (exprimée en acide sulfurique).

b) Levains de grains saccharifiés par le malt. — En Allemagne et en Autriche on emploie fréquemment les levains de malt pour la fermentation des mélasses. M. Heizelmann (1) conseille d'abandonner ces levains, dispendieux et difficiles à préparer, et de les remplacer par de la levure de bière à laquelle on associe l'emploi du son. Les pailles ne sont pas superflues dans la fermentation, car elles servent de support à la levure et facilitent le dégagement de l'acide carbonique du moût. On s'en aperçoit très bien en agitant un moût de mélasse avec levure seule ; il se produit un dégagement tumultueux d'acide carbonique.

On fait tremper le son dans de l'eau à 75° C dans un vase à levain et on laisse reposer 1 heure à cette température pour affaiblir les bactéries. Avec 0 k. 4 de son ainsi préparé et 0 k. 8 de levure par hectolitre, M. Heizelmann fait fermenter des moûts ayant une densité de 109,5 à 110,5.

Nous sommes aussi d'avis que les levains de malt sont trop dispendieux ; mais ce que les auteurs allemands ne disent pas, c'est qu'avec ces levains on ne peut pas stériliser comme on le fait avec les levains dont nous avons indiqué la préparation : le travail est donc forcément très impur. Le levain doit forcément donner un mauvais rendement, car toute la dextrine qui s'y trouve est perdue. Si on emploie du son, comme le conseille Heizelmann, il nous semble qu'il faudrait chauffer au moins à 100°. Tout cela nous semble bien inférieur au travail avec levain de maïs ou avec levain de mélasse et levure de vin, tel qu'on le pratique actuellement en France.

(1) Zeitschrift für spiritusindustriæ, n° 26, 1892.

Les auteurs allemands conseillent aussi l'emploi de la levure pressée pour la fermentation des mélasses ; nous avons déjà dit que cette levure est très impure et qu'elle ne doit jamais être employée dans la fabrication de l'alcool.

Conduite de la fermentation des moûts de mélasse

454. Pour bien conduire la fermentation des moûts de mélasse, il est nécessaire de suivre cette opération de très près. Il faut d'abord bien régler la densité et la température de chargement, ce qui exige une surveillance de tous les instants.

La température de chargement varie suivant :

1° La densité de chargement ; — 2° La nature de la mélasse ; — 3° La proportion de levain employée ; — 4° La température et l'énergie du levain ; — 5° La température extérieure.

La durée de l'emplissage des cuves doit être aussi constante que possible, nous verrons plus loin pourquoi ; en général, elle est de 6 à 8 h. environ.

Il faut fréquemment, au moins quatre fois par 24 heures, relever la durée de marche, la densité et la température de chaque cuve. Les ouvriers peuvent très bien faire ce travail, par exemple, à 2 h. m., à 8 h. m., à 2 h. s. et à 8 h. s.

On note toutes ces indications sur un carnet où l'on a inscrit d'avance le numéro de la cuve, la température du levain qu'elle a reçu et la température qu'il y avait dans la cuve au moment où elle a été pleine.

Quand un levain a fermenté plus paresseusement qu'un autre, il est à une température plus basse au moment de la maturité ; c'est une chose à noter soigneusement. De même, quand la mélasse qu'on charge sur un levain fermente plus difficilement que celle qu'on a chargée sur les levains précédents, ceux-ci ayant la même température et la durée de l'emplissage étant la même, la température de la cuve au moment de l'emplissage sera plus basse. C'est un avertissement dont il faut immédiatement tenir compte. Si, en prenant la température un peu avant que la cuve soit pleine, on s'aperçoit qu'elle sera plus froide de 1° que d'habitude, on achèvera l'emplissage avec du moût très chaud de façon à avoir finalement tout le contenu de la cuve à une température plus élevée que d'habitude de 1°. On prend

ensuite ses précautions pour les cuves suivantes, car on se trouve en présence d'un défaut de la mélasse.

Les principaux défauts que peuvent présenter les mélasses sont : 1° la caramélisation ; 2° la présence d'acides gros volatils ; 3° la présence de bactéries.

Avec des mélasses saines, on peut facilement, avec une proportion de levain de $\frac{1}{10}$, faire fermenter à fond des moûts chargés à 108 et même 109 de densité (= 21°, 5 Balling = environ 12° Baumé) ; mais quand on travaille des mélasses de qualité plus ou moins bonne, on se contente généralement, en France, d'une densité de 107,5 (= 18° Balling = 12° Baumé).

Quand, au lieu d'une bonne mélasse, on doit travailler un produit plus ou moins altéré, il faut recourir à l'un des moyens suivants pour assurer la transformation complète du sucre en alcool.

- 1° Abaisser la densité de chargement ;
- 2° Augmenter la température initiale ;
- 3° Augmenter la proportion de levain employée ;
- 4° Changer la proportion d'acide ajoutée.

Qu'il s'agisse d'une mélasse présentant l'un quelconque des trois défauts cités précédemment, on comprend immédiatement comment on arrive par les trois premiers moyens ci-dessus à améliorer la fermentation.

La levure se fatigue rapidement à vivre dans un pareil milieu ; sa prolifération est difficile et les nouvelles cellules sont malades et sans vigueur. L'abaissement de densité et l'augmentation de la température initiale abrègent la durée de la fermentation et par conséquent obvient, dans la mesure du possible, à une rapide dégénérescence du ferment.

Le meilleur moyen de travailler les mélasses caramélisées est de les mélanger à d'autres. Ces mélasses sont généralement peu alcalines ; en les mélangeant à d'autres mélasses non caramélisées ayant une forte alcalinité, on régularise doublement son travail : on n'a pas constamment à changer le dosage de l'acide, et le moût qu'on prépare est un milieu plus régulier pour la levure.

En général, du reste, on a avantage à mélanger ses mélasses, pourvu naturellement qu'elles ne présentent que des différences d'alcalinité, ou une caramélisation qui n'est pas trop exagérée, ou une très faible teneur en acides gras.

Les mélasses fortement caramélisées, celles qui contiennent une forte proportion d'acides gras volatils et celles qui sont fortement souillées par des bactéries, doivent être travaillées à part, à moins qu'on ne les retourne au vendeur, ce qui est souvent le plus économique, car on ne peut les faire fermenter à fond qu'en chargeant à faible densité et en employant une forte proportion de levain.

Dans le cas de mélasses renfermant une notable proportion d'acides gras, butyrique, formique, acétique, il faut faire un chauffage avec insufflation d'air assez prolongé, marcher à très faible densité, employer une forte proportion de levain, et charger à une température assez élevée pour exalter la force fermentative de la levure.

Les mélasses renfermant de l'acide butyrique se reconnaissent facilement quand on les acidifie dans une capsule du laboratoire. Le liquide chauffé dégage dans la salle une odeur forte et pénétrante tout-à-fait caractéristique. Ces mélasses sont plus rares depuis qu'on a supprimé en sucrerie la filtration sur noir qui était une cause perpétuelle de fermentation butyrique. Il se développe dans ce cas de l'acide butyrique et de l'acide formique.

D'après Herzfeld, on rencontre aussi dans les mélasses de l'acide trioxybutyrique résultant de l'oxydation du lévulose en solution alcaline, et cet acide entrave fortement la fermentation.

Nous avons vu au chapitre de la fermentation que de *très petites* quantités d'acide butyrique favorisent la fermentation; mais qu'au-delà de 0,5 par litre cet acide est mortel pour la levure.

On rencontre parfois des mélasses qui renferment de 0,5 à 1 %, et même plus, d'acide butyrique combiné aux alcalis. Les butyrates alcalins sont complètement inoffensifs, mais l'acidification met en liberté l'acide butyrique et l'ébullition qu'on fait subir au liquide est loin d'être suffisante pour chasser cet acide. Supposons une mélasse contenant 0,1 à 0,2 % d'acide butyrique; en faisant un moût à 250 g. de matières par litre, on aura 0,25 à 0,5 de cet acide par litre, et on ne constatera aucun effet nuisible; mais, s'il y a plus de 0,2 p. 100 d'acide dans la mélasse, la fermentation sera mauvaise.

Les essais de Maercker et Neale prouvent que l'acide butyrique est le plus nuisible de tous les acides gras (403).

Pour faire fermenter les mélasses renfermant des acides gras volatils, Maercker conseille de les neutraliser complètement par le

carbonate de chaux après stérilisation. L'addition d'acide, dans ce cas, n'a pour but que de détruire l'alcalinité de la mélasse et d'assurer une légère acidité pour favoriser la stérilisation. Le départ des acides gras n'a ici aucun intérêt, car Maercker prétend que les mélasses ainsi neutralisées par la craie fermentent à fond avec un bon rendement, même quand on ajoute au moût des doses de sels sébaciques qu'on ne rencontre jamais dans la pratique.

D'après des expériences de Fiedler, un moût de mélasse soumis à l'ébullition pour chasser les acides gras n'aurait donné que 54 l. d'alcool au lieu de 65 l., que donnait le même moût après neutralisation à la craie.

D'après Bauer, la craie agirait encore quand la fermentation est déjà assez avancée.

Dans le cas de mélasses souillées par des bactéries, mais saines à tous les autres points de vue, il y a avantage à acidifier fortement; il faut naturellement produire une stérilisation énergique et mener la fermentation rapidement, en ne chargeant pas à très haute densité et en adoptant une température initiale suffisante. D'après les expériences de Hayduck, quand on gêne la reproduction des bactéries, par une forte acidification, la prolifération de la levure et la fermentation sont plus actives aux températures élevées.

L'acidité ne doit cependant pas être supérieure à 2 gr. 5 par litre et la température finale ne pas dépasser 34° C; mais cette température doit être atteinte.

Dans le cas qui nous occupe, on peut généralement se dispenser de forcer la proportion de levain.

D'après M. Effront, les mélasses sont parfois souillées par des bactéries réunies en zoogléas par une matière qui les protège contre la chaleur et empêche la stérilisation. Pour tuer ces bactéries, M. Effront précipite cette matière en ajoutant 30-35 gr. de tannin par 100 kil. de moût, 3-4 œufs, ou encore de l'hydrate d'alumine.

Les résultats auxquels on arrive quand on n'a pas pris toutes les précautions nécessaires, se traduisent toujours par un ralentissement de la fermentation, une acidification exagérée, et, en fin de compte, un mauvais rendement et une qualité inférieure de l'alcool.

Pour éviter ces accidents il faut, au moindre indice de moins bonne marche, prendre des mesures pour se mettre à l'abri des surprises; mieux vaut prendre des précautions inutiles que de se

laisser surprendre, car les pertes de rendement se chiffrent par une grosse somme à la fin de l'année.

L'acidité qu'il faut maintenir dans les moûts de mélasse dépend un peu des soins avec lesquels on travaille. Pendant longtemps les distillateurs de mélasse, prenant exemple sur le travail des betteraves, fermentaient avec des acidités de 2 g. 5 à 3 g. par litre ; mais depuis quelques années on fait des moûts moins acides. Il est certain que dans un travail très propre on peut avoir de fort bonnes fermentations avec 1 g. 5 et même 1 g. par litre ; mais vouloir descendre en-dessous de ces chiffres, sous prétexte d'économiser un peu d'acide sulfurique et d'avoir un peu moins de sulfate dans les salins, ne paraît pas une chose rationnelle.

Les levures aiment à vivre dans un milieu acide, témoin toutes les fermentations naturelles ; pourquoi dès lors ne pas mettre à profit la forte dose d'acide organique contenue dans la mélasse pour créer dans son moût une acidité organique si favorable à la fermentation ?

Fermentation des mélasses contenant du raffinose.

433. D'après ce que nous avons vu (71, 212) les levures généralement employées pour la fermentation des mélasses, c'est-à-dire les *levures hautes* de bière ou les *levures basses* de vin, ne feront généralement fermenter que le tiers du sucre raffinose et les deux tiers resteront comme résidu sous forme de mélibiose. Pour fermenter à fond le raffinose, il faudrait l'intervertir complètement par un acide ou employer une levure sécrétant de la mélibiase (383) comme les levures basses des brasseries allemandes.

Pour produire une inversion complète par les acides, il faudrait employer une dose d'acide minéral très forte, car les premières portions de l'acide ajouté déplacent les acides organiques qui n'ont qu'un pouvoir inversif très faible ; par suite, ce moyen n'est pas pratique.

Le système le plus logique serait celui basé sur une découverte récente de M. Dubourg (1). Ce savant a montré que la sécrétion de diastases pouvait se modifier, chez les levures et amener des changements profonds dans des propriétés qu'on

(1) Annales de la Brasserie et de la Distillerie.

avait crues jusqu'ici bien fixées. Comme les autres êtres, les levures sont capables de subir l'influence marquée de l'éducation.

Si l'on peut amener, par une éducation convenable, une levure à faire disparaître complètement le raffinose et le mélibiose, le problème sera entièrement résolu. D'après M. Dubourg on doit pouvoir, par une alimentation azotée convenable, arriver à faire sécréter aux levures ordinaires les enzymes nécessaires à la transformation du raffinose et du mélibiose et par conséquent à fermenter ces sucres.

CHAPITRE XXV

Fermentation des moûts de pommes de terre et de grains

456. Nous avons vu que les moûts de betteraves et de mélasse sont mis en fermentation par addition d'une forte dose de levure de bière ou par addition d'un certain volume de levain, c'est-à-dire de moût dans lequel on a préalablement développé la fermentation au moyen d'une petite dose de levure de bière ou de levure de vin cultivée par des procédés scientifiques.

Pour les moûts provenant de matières amylacées, on peut également se servir de levure de bière, et c'est ainsi qu'on a opéré longtemps en France et qu'on opère encore en Belgique et en Angleterre pour les moûts de grains. En Allemagne et en Autriche, où les brasseries ont peu à peu abandonné complètement la fermentation haute pour la remplacer par la fermentation basse, il a fallu remplacer complètement la mise en levure directe par le système des levains, car, comme nous l'avons vu, la levure basse est impropre au travail en distillerie.

Le brasseur par fermentation haute recueille la levure qui vient former chapeau sur le moût dans ses cuves ou qui s'écoule par la bonde de ses tonneaux et tombe dans ses menettes; cette levure sert à ensemercer un moût suivant ou est vendue au distillateur.

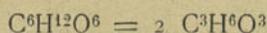
Le distillateur anglais, travaillant par moûts clairs, pourrait également recueillir la levure qui vient surnager sur ses moûts et s'en servir pour une opération suivante. Mais les distillateurs

travaillant par moûts troubles ne pourraient en faire autant, parce que la levure, mêlée aux pelures des pommes de terre ou des grains, ne peut être séparée du moût. Ce distillateur opère alors comme le boulanger qui n'a pas de levure et qui conserve à chaque opération un peu de pâte en fermentation ou levain pour faire lever la pâte suivante.

Supposons que nous voulions travailler des pommes de terre et que nous soyons éloignés de tout établissement pouvant fournir de la levure. On peut prendre dans la cuve-matière, à la fin de la saccharification, un peu de moût saccharifié, l'introduire dans un vase de 4 à 5 hectol., ajouter un peu de levure qu'on s'est procurée avec beaucoup de soins, et maintenir le tout dans un petit local où règne une température régulière de 30° C. La levure bourgeonne et se multiplie ; au bout d'un certain temps le liquide est complètement envahi par des cellules plus ou moins sphériques qui se détachent les unes des autres : on dit alors que le levain est mûr. On ajoute ce levain au moût saccharifié resté dans le macérateur, on fait faire quelques tours à l'agitateur, et on envoie le tout dans une cuve à fermenter où se fait la fermentation.

Mais avant de vider le levain dans le macérateur, on a soin d'en prélever une petite quantité, $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{10}$, qu'on conserve pour faire fermenter le levain suivant : c'est ce qu'on appelle la *levure-mère*. On est ainsi complètement affranchi de tout fournisseur de levure, car c'est la même qui se reproduit constamment et sert d'un bout de l'année à l'autre.

Acidification du levain. — Mais les choses ne se passent pas aussi simplement. La levure aime à vivre dans des moûts acides et surtout dans des moûts ayant une certaine acidité organique. Or, les moûts de substances amylacées ne renferment que fort peu d'acides organiques ; comment y créer une acidité organique suffisante ? En Allemagne on emploie pour cela un moyen très simple qui consiste à exposer le petit volume de moût destiné au levain à une *acidification spontanée*. En exposant ce moût à une température de 50° C, il ne tarde pas à être envahi par de petits bâtonnets plus ou moins allongés, analogues à ceux qui se développent dans le lait en train de surir et qui transforment le sucre en acide lactique $\text{CH}^3 \text{CH} (\text{OH}) \text{CO}^2\text{H} = \text{C}^3\text{H}^5\text{O}^3$, à peu près d'après la formule :



Jusqu'ici nous avons vu qu'il faut toujours éviter partout la présence du ferment lactique, et c'est pour cela que nous avons recommandé de laver soigneusement les matières premières et de maintenir les appareils dans le plus grand état de propreté ; il paraît donc absurde de développer le ferment lactique dans un liquide où il faudra cultiver la levure, et qui servira ensuite à mettre en fermentation tout le moût produit dans l'usine. En réalité ce travail n'a rien de scientifique. L'acidification lactique du moût servant à la préparation des levures date de plus d'un siècle et a été inventée par des ouvriers et des contremaitres qui l'ont ensuite perfectionnée par des méthodes empiriques. En 1884, Gorup de Besanez (1) démontra qu'on peut, à l'aide de la glycérine, extraire des graines de lupin en germination, une diastase qui digère les matières albuminoïdes. En 1882, Hagneth démontra qu'en extrayant les matières solubles de céréales et laissant reposer la solution à une température de 50° C, il se produit une transformation des matières albuminoïdes en substance assimilable pour la levure, qui devient beaucoup plus importante, si on ajoute de l'acide lactique et surtout de l'acide sulfurique.

A la suite de ces travaux, Maercker et d'autres auteurs allemands expliquèrent l'effet de l'acidification lactique par une peptonisation, et comme dans la science on admettait généralement que la peptonisation se faisait avec le plus d'intensité vers 37-38° C, Maercker émit l'opinion que l'acidification des moûts à levain devait se faire à cette température. « On chercha, dit Effront, à favoriser par tous les moyens à la disposition du distillateur la production des peptones ; on donna la préférence au malt sec sur le moût vert, parce que la peptase existe dans le premier et ne se trouve pas dans le second ; on essaya de pousser l'acidification au maximum et de prolonger l'acidification le plus possible, toujours dans le même but de favoriser la peptonisation. En un mot, on tenta de donner au procédé un caractère systématique et raisonné, en accord avec l'explication théorique qu'on en donnait ; malheureusement l'explication ne valait pas grand-chose et les tentatives faites pour améliorer le procédé n'aboutirent qu'à des perturbations et à des difficultés insurmontables dans le mode de travail.

« Leurs insuccès forcèrent les promoteurs de la théorie à sortir des généralités et ils entrèrent dans la voie des recherches expé-

(1) Voir Otto Durst. Handbuch der Presshefefabrikation, 22^e édition, 1896.

rimentales. L'analyse comparative des moûts acidifiés ou non montre que le levain lactique ne renforce nullement l'action des peptases et on s'aperçut bientôt que le rôle qu'on se plaisait à attribuer aux peptones, revenait bien plutôt aux amides ».

On a reconnu, en effet, que les peptones n'ont pas pour la levure la valeur alimentaire qu'on leur supposait, et qu'ils étaient inférieurs aux amides qu'apporte avec lui le malt ; d'autre part, Delbrück n'a pas pu démontrer la présence de peptone dans le moût, et enfin le malt vert ne renferme pas de peptone et cependant il fournit un excellent moût à levain.

« Complètement abandonnée, la théorie de peptonisation fit place à la théorie antiseptique ; suivant celle-ci, le levain lactique préserve les levures des bactéries et des moisissures et joue en somme un rôle antiseptique. La nouvelle théorie reposait surtout sur l'observation générale que les moûts acides se conservent mieux que les moûts neutres et que le moût fermenté est d'autant moins acide que le levain l'est plus fortement (Effront). »

Cette théorie était soutenue par Delbrück. Celui-ci remarqua que pour avoir une acidification exclusivement lactique, il faut opérer à une température de 50° C ; si celle-ci descend en dessous de ce chiffre, il se développe d'autres schizomycètes producteurs d'acides volatils, notamment des ferments butyriques.

Un moût saccharifié à 60° C et abandonné à 50° C donna à Hayduck pour le rapport des acides fixes aux acides volatils $\frac{f}{v} = \frac{100}{3}$, tandis qu'en saccharifiant à la même température et abandonnant à 37-38° C, il trouva $\frac{f}{v} = \frac{100}{31}$. L'acide volatil était en majeure partie, non pas de l'acide butyrique, comme on aurait pu s'y attendre, mais de l'acide acétique, ce que Hayduck attribue à la présence d'un peu de levure et d'un autre saccharomyces (le *S. sphaericus*). Enfin, en abandonnant à l'acidification à 37-38° C la masse empâtée servant à la préparation du levain, il a trouvé $\frac{f}{v} = \frac{100}{80}$, et les 80 parties d'acides volatils étaient surtout de l'acide butyrique. Hayduck en conclut qu'en saccharifiant à une température suffisamment élevée (60 à 65° C) et acidifiant ensuite à 50° C, on a surtout de l'acide lactique, tandis qu'avec une température d'acidification plus basse, il peut se produire des ferments acétiques et d'autres bactéries.

Comme les ferments acides autres que le ferment lactique étouffent celui-ci, il en résulte qu'on n'obtient qu'une faible aci-

dité : les anciens distillateurs savaient par expérience que, dans ce cas, ils étaient fort exposés à avoir un mauvais levain. Ces ferments développés aux températures inférieures sont donc nuisibles à la levure. Delbrück a donc fait adopter ce principe de ne pas laisser descendre la température en dessous de 50° C pendant l'acidification lactique, et, dans ces derniers temps, on a même pris l'habitude de rester un peu au-dessus de cette limite, à 52-53° C.

Un travail qui a jeté une grande lumière sur l'acidification lactique spontanée est celui de Kayser (de l'Institut agronomique de Paris). Ce travail a démontré qu'il existe un grand nombre d'espèces de ferments lactiques dont la résistance à la chaleur varie d'une espèce à l'autre : les plus résistantes sont celles qui donnent un maximum d'acidité. Kayser a constaté que tous les ferments lactiques produisent une certaine dose d'acide volatil, qui est généralement de l'acide acétique.

Quelle est maintenant la façon dont agit l'acidification lactique des levains? Est-ce le ferment lui-même qui agit ou l'acide produit par ce ferment. On admet généralement aujourd'hui que c'est l'acide qui agit, mais on n'est pas encore d'accord sur le mode d'action de l'acide lactique.

D'après les auteurs allemands, l'acide lactique agit comme antiseptique; il arrête d'abord le développement des bactéries lactiques elles-mêmes, et ensuite celui des ferments butyriques et autres ferments dangereux.

Dans un moût à levain fortement acidifié, il n'existe que peu de bactéries vigoureuses, le ferment lactique étant tué par son propre produit d'excrétion, l'acide lactique. La règle des anciens distillateurs « beaucoup d'acide dans le levain donne peu d'augmentation d'acidité dans les cuves de fermentation » est parfaitement exacte. On ne saurait donc avoir une trop forte acidité dans les levains; on doit trouver au moins 5 à 6 gr. par litre, exprimés en acide sulfurique, ce qui correspond à 9-12 gr. d'acide lactique. La levure supporte facilement 15 gr., et plus il y a d'acide lactique, mieux on est assuré contre l'invasion d'autres microorganismes très nuisibles à la levure.

D'après le Dr Effront il est inexact d'admettre que l'acide lactique n'agisse que comme antiseptique, car dans un moût stérilisé, c'est encore la levure cultivée dans le moût acide qui donne le meilleur résultat; les levures ont acquis, par leur passage dans le levain, des propriétés nouvelles, une activité plus

grande. Il est possible que dans certaines conditions l'acide lactique peut jouer un rôle antiseptique, mais c'est un antiseptique très faible comme l'alcool.

Si l'on veut augmenter l'activité d'une levure, on peut employer différents moyens : 1° Le plus simple consiste à cultiver la levure dans un moût riche en matières nutritives et dans des conditions telles, que le rapport entre la quantité de levure et la quantité de moût soit considérable ; 2° Un autre moyen consiste à cultiver la levure dans un moût riche en matière nutritive et contenant 10 à 15 g. d'acide lactique par litre ou une petite dose d'un fluorure soluble ; 3° Une levure cultivée dans un moût à 15° C sera plus active qu'une levure cultivée dans le même moût à 30° C ; 4° Dans un moût bien concentré, on obtient une levure plus active que dans un moût dilué.

Or, tous ces moyens aboutissent au même résultat : la diminution de la reproduction de la levure. D'après Effront, le levain lactique n'est pas autre chose que la réunion de ces conditions, par lesquelles on empêche l'accroissement de la levure, tout en la forçant à assimiler de grandes réserves de matières nutritives. L'effet antiseptique obtenu réside dans l'activité même de la levure ; c'est au moyen de son activité propre qu'elle se protège contre les ferments étrangers (Effront).

Acidification lactique au moyen d'un ferment pur et sélectionné

457. Jusque dans ces dernières années, c'est toujours par une fermentation spontanée qu'on a produit l'acidification lactique des moûts à levains. C'étaient les bactéries lactiques répandues dans l'atmosphère de la salle à levains qui produisaient l'acidification. Au début d'une campagne, comme les bactéries lactiques provenant de l'année précédente avaient péri pour le plus grand nombre, l'acidification s'établissait difficilement ; on la provoquait en frottant le sol de l'atelier et les cuves à levains avec du lait aigre.

Ce procédé était tout à fait défectueux, car on sait maintenant que les bactéries qui provoquent l'acidification du lait peuvent différer complètement de celles de la distillerie. Aussi arrivait-il souvent, même en plein milieu d'une campagne, qu'on ne parvenait pas à avoir une acidification suffisante comme dose d'acide et comme pureté. On a donc cherché à remplacer l'acidification lactique spontanée par une acidification produite par un ferment

cultivé à l'état de pureté. Ce problème a été résolu par Behrend et Lafar.

Lafar a isolé, d'un moût-levain acidifié, un ferment lactique très énergique, le « *Bacillus acidificans longissimus* ». Behrend s'est servi de ce bacille pour produire l'acidification lactique dans les distilleries.

Si on admet que l'acidité du moût à levain a surtout pour effet d'augmenter la puissance fermentative de la levure, il est facile de comprendre que l'acidification présente une grande importance. Pour éviter toute désillusion, Bücheler conseille de ne pas prendre moins d'un litre de moût acide par hecto de moût à acidifier. En ne prenant qu'un décilitre, comme on l'a fait parfois, on ne peut pas assurer un bon résultat. Il faut qu'après dix-huit à vingt heures d'acidification on ait dans le moût à levain une acidité d'au moins 7 gr. d'acide par litre (en acide sulfurique) ou 13 g. d'acide lactique.

Après saccharification, on refroidit à 52° C et on ensemence de moût-levain acide, puis on maintient constamment une température de 50° C.

Pratique de la préparation des levains

458. Nous avons dit que pour se préparer un moût à levain, on pouvait simplement prendre du moût sucré dans la cuve à saccharifier, soumettre ce moût à l'acidification lactique, le refroidir jusqu'à une température de 18 à 20° C, et l'ensemencer avec une levure appropriée ou une levure mère (moût en fermentation provenant d'un levain précédent et conservé dans l'eau froide). Mais au lieu de prélever du moût sucré dans la cuve-matière, on préfère généralement préparer un moût à levain spécial au moyen de substances donnant un moût très favorable à l'acidification lactique et à la production de la levure. La préparation du moût à levain est ainsi indépendante de la préparation du moût principal. Le moût de pommes de terre riche en amides, mais pauvre en peptone, se prête mal à l'acidification; quant au moût de maïs, le peu de solubilité de ses matières azotées le rend impropre à la confection d'un bon levain.

Les matières premières qu'on emploie le plus généralement sont le malt vert ou le malt sec et le seigle.

Il y a quelque temps, on employait surtout pour les levains

du malt vert. Les moûts qu'on obtenait ainsi étaient relativement pauvres en sucre. A mesure qu'on a fait des moûts de plus en plus épais, il a fallu augmenter également la concentration des moûts à levains; on y est arrivé en préparant ceux ci au moyen d'un mélange de malt vert et de moût sucré pris dans la cuve matière. En dehors de l'économie résultant de la substitution du moût au malt qui coûte toujours cher, le distillateur a la faculté de préparer à volonté un moût ayant la concentration qu'il désire.

Empâtage des matières premières. — L'empâtage des matières premières pour la préparation des levains se fait souvent dans de petites cuves en bois, dites cuves à levains, qui doivent naturellement être d'une propreté irréprochable. Voici comment on opère avec le malt vert. Ce malt, bien écrasé, autant que possible par deux passages à travers le broyeur, est versé dans la cuve et additionné d'eau à 68-70° C. à raison de 1/3 de litre par kilo de malt; on brasse énergiquement à l'aide d'un fourquet. Il se produit immédiatement un commencement de saccharification, qui rend la masse plus fluide et l'agitation plus facile; on peut alors, sans se soucier de la destruction d'un peu de diastase, ajouter de l'eau à 88-90° C. jusqu'à ce qu'on obtienne une température de 65° C. dans le mélange et abandonner à la saccharification durant deux heures.

Les grains servant à la préparation du levain doivent toujours, par des nettoyages à sec, suivis, si c'est nécessaire, de lavages à l'eau, être débarrassés aussi bien que possible des poussières et des microorganismes qui y adhèrent; en outre, il faut faire subir au moût saccharifié une stérilisation en le portant à une température de 75° C. qu'on maintient pendant 15 minutes.

Ce réchauffage est très utile et produit d'autant plus d'effet que les matières premières employées étaient plus souillées par des bactéries. Pour qu'il n'altère pas les matières azotées, il est nécessaire que le moût à levain soit très concentré et renferme une forte dose de sucre. Outre la destruction des bactéries, ce réchauffage a encore l'avantage de produire une désagrégation et partant une saccharification plus complète de l'amidon contenu dans le moût à levain.

Dans un moût très concentré, il est impossible de réchauffer à 75° C, par addition d'eau chaude; on se sert dans ce but d'un *fourquet à vapeur* consistant en un tuyau de vapeur en cuivre rouge étamé portant à son extrémité inférieure un cadre

à trois branches verticales, formé de tubes creux également en cuivre rouge étamé et percés de petits trous. La partie supérieure du tube, recourbée à angle droit, est raccordée à une tubulure de prise de vapeur par un tuyau en caoutchouc. Au moyen de ce fourquet, on remue la masse pendant qu'on y injecte doucement de la vapeur. Le tube est recouvert d'un fourreau en bois

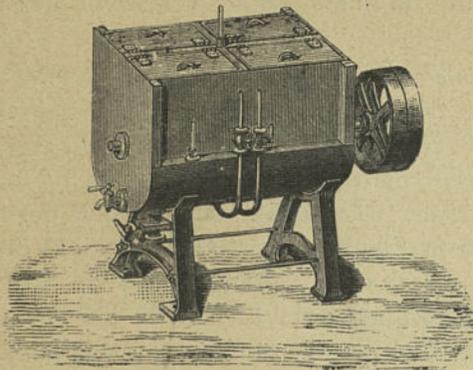


Fig. 241.

Macérateur à levains d'Ellenberger.

pour qu'on puisse le tenir facilement à la main sans être incommodé par la chaleur.

Dans les distilleries d'une certaine importance, au lieu de préparer des levains à la main, on se sert toujours d'appareils mécaniques.

Un macérateur à levain très employé est celui d'Ellenberger (fig. 241). Il présente la forme d'un pétrin et porte une double

enveloppe pour le chauffage ou le refroidissement.

Le malt à saccharifier est préalablement transformé en lait comme celui qui sert à la saccharification en cuve-matière ; on introduit ce lait dans le macérateur, on met l'agitateur en mouvement et on emplit d'eau l'espace formé par la double enveloppe. On chauffe, ensuite, en injectant de la vapeur dans cette eau, jusqu'à la température de saccharification, et on abandonne à cette température pendant une heure.

Un autre appareil du même genre est celui de Paucksh. La figure 242 représente cet appareil en coupe longitudinale et en coupe transversale. L'agitateur laisse place pour un thermomètre fixé à demeure. Une vanne sert à vider l'appareil directement dans les vases à levains. Le robinet de droite sert à l'introduction de l'eau froide et celui de gauche à son évacuation. Le petit robinet fixé à la partie inférieure de la coupe longitudinale sert à la vidange de l'eau contenue entre les deux enveloppes.

Le moût à levain, après saccharification, est vidé dans les vases à levains disposés dans un local spécial. L'acidification se fait en maintenant le moût pendant 16 à 18 heures à une température de 50° C. Pour pouvoir maintenir si longtemps cette température,

il est nécessaire d'avoir un moût très concentré et par suite peu disposé au refroidissement, et en outre un local maintenu à 30° C.

Parfois on recouvre les vases avec des tapis, des sacs, ou on les enveloppe de paille ; mais le meilleur moyen consiste à réchauffer le moût de temps en temps au moyen du *fourquet à vapeur*. On peut également maintenir la température en faisant passer dans le moût de l'eau chaude au moyen d'un des appareils que nous allons décrire plus loin en parlant du refroidissement du moût acidifié.

Comme nous l'avons dit, on n'a pas à craindre de pousser

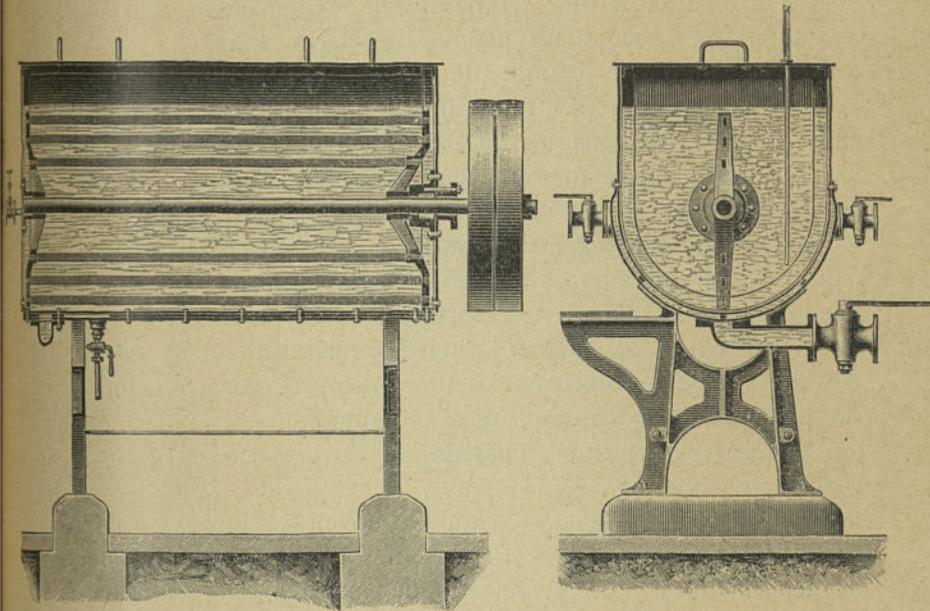


Fig. 242. — Macérateur à levains de Paucksch.

trop loin l'acidification, parce qu'elle s'arrête d'elle-même. Si l'opération est bien faite, on pourra arriver à une acidité de 5 g. 5 à 6 g. par litre exprimée en acide sulfurique ou 10 à 11 g. d'acide lactique.

Mais l'acidification lactique est une opération onéreuse parce que cet acide se produit aux dépens du maltose et qu'il en résulte forcément une perte en alcool. Quand une distillerie travaille dans d'excellentes conditions, que l'air et l'eau sont purs, que le malt, grâce à des lavages, est exempt de bactéries, on pourra se contenter d'une acidité moins forte, par exemple 3,5

à 4 g. par litre (en $\text{SO}^4 \text{H}^2$), soit 6 à 7 g. d'acide lactique, et on obtiendra malgré cela d'excellents résultats.

Si au bout de 20 à 22 heures le moût à levain n'accuse pas encore une acidité suffisante pour la fermentation spontanée, on pourra essayer l'un des moyens suivants :

1° On ajoute au moût à levain un certain volume de moût acide provenant d'une opération précédente;

2° On emploie en même temps que le malt un peu de farine de seigle qui favorise non seulement l'acidification, mais encore la nutrition de la levure ;

3° On acidifie à une température ne dépassant pas 50°C et au besoin on descend un peu en-dessous à $47-48^\circ \text{C}$.

On recommande encore de saccharifier à une température plus basse pour ne pas tuer dès le début le ferment lactique. Mais ici il semble que les auteurs allemands tournent dans un cercle vicieux. C'est surtout pour prémunir la levure contre les bactéries apportées par le malt qu'on fait l'acidification lactique, et comme cette acidification lactique est impuissante par elle-même à empêcher complètement le développement des ferments apportés par le malt, on recommande de laver celui-ci à fond et en outre de saccharifier à une température assez élevée. Du moment qu'on recommande de ménager ces bactéries lors de la saccharification, il faut en faire autant pour le lavage, et alors toutes les prescriptions relatives à la propreté perdent toute valeur.

Ceci démontre qu'il n'y a qu'un moyen rationnel de produire l'acidification lactique: c'est d'ensemencer le moût à levain d'un ferment lactique pur et sélectionné spécialement pour le travail en distillerie.

Nous avons parlé aussi de l'emploi du seigle. La farine de seigle est depuis longtemps fort employée en mélange avec le malt sec ou le malt vert dans la préparation des levains. On prend par exemple $\frac{2}{3}$ de malt vert et $\frac{1}{3}$ de seigle ou $\frac{3}{4}$ de malt vert et $\frac{1}{4}$ de seigle.

Refroidissement du moût à levain

459. Quand l'acidification est achevée et que le moût acidifié est prêt à être mis en levure, on procède au refroidissement jusqu'à

la température favorable à la multiplication du ferment alcoolique.

Ce refroidissement doit se faire dans le moins de temps possible : on doit surtout franchir rapidement l'intervalle des températures de 45 à 30° C, qui est très favorable au développement des bactéries nuisibles. On pousse le refroidissement jusqu'à la température voulue, variable avec la température extérieure, la concentration du moût à levain, etc., et immédiatement on met en levure afin d'éviter les *points morts*. Partout où il y a de la levure en activité, a dit Delbrück, les micro-organismes étrangers ne se développent pas ; il ne doit donc y avoir dans la préparation des levains aucun *point mort*, c'est-à-dire aucun moment où le micro-organisme que l'on désire développer soit inactif.

Pour le refroidissement du moût acidifié, on se sert d'appareils spéciaux en cuivre, capables de refroidir très rapidement et en même temps très faciles à nettoyer.

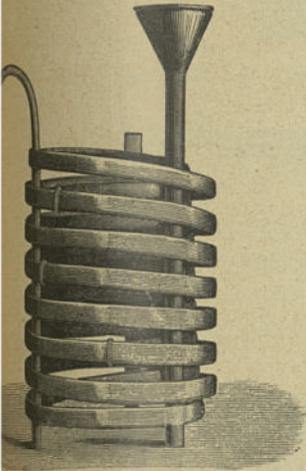


Fig. 243.

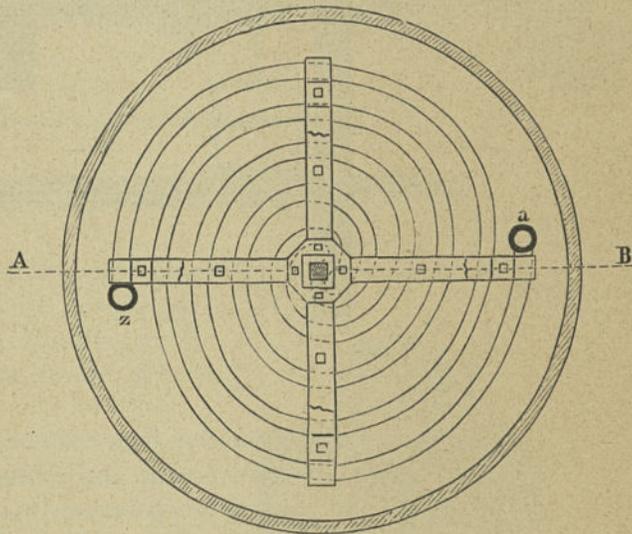


Fig. 244.

Autrefois on employait souvent un simple serpentin à tube de section circulaire ou un réfrigérant à double paroi ; on plongeait ces appareils dans le moût à refroidir, on y faisait passer l'eau, et de temps à autre on remuait le moût au moyen d'un fourquet autant que le permettait l'espace libre laissé dans la cuve. La figure 243 représente un serpentin dont les spires sont aplaties comme des cercles de tonneaux, de façon à présenter une section plus petite et par suite une plus grande surface et une meilleure

utilisation. C'était un petit perfectionnement; mais le système était bien imparfait et même faux en principe, car il n'y avait pas renouvellement du liquide au contact des surfaces (1) : la transmission du calorique était par suite très lente et le refroidissement demandait beaucoup de temps. Le liquide restait longtemps exposé aux températures dangereuses.

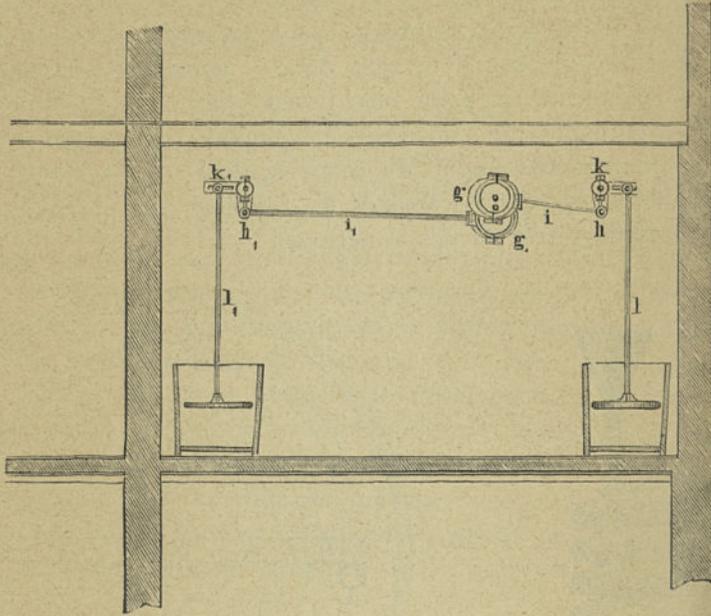


Fig. 245.

Dans toutes les distilleries bien montées, on se sert aujourd'hui de réfrigérants en mouvement, qui refroidissent rapidement les moûts épais, en évitant les points critiques, et qui donnent en outre une meilleure utilisation de l'eau. Enfin le mouvement est encore utile en ce qu'il favorise le dégagement de l'acide carbonique et met constamment les cellules de levure en contact avec de nouvelles parties de moût.

Les figures 244, 245, représentent l'installation de deux cuves à levure avec réfrigérants en spirale $a z$.

La figure 246 montre une salle de fermentation et une salle à

(1) Le liquide devrait être renouvelé 1600 fois par minute pour pouvoir lui incorporer les calories correspondantes au pouvoir transmissif du métal (Péclet).

levains munies chacune d'appareils mécaniques pour le fonctionnement des réfrigérants en mouvement.

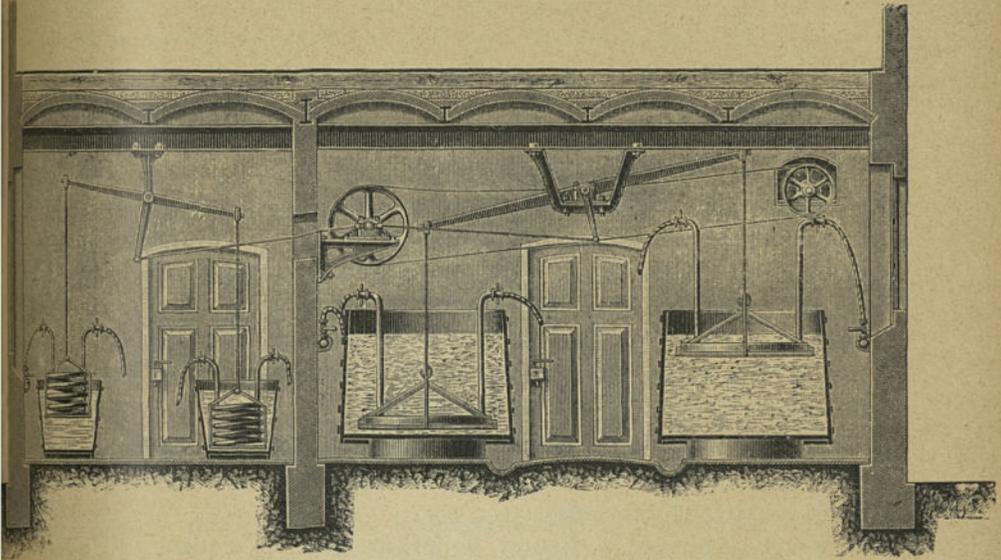


Fig. 246. — Réfrigération en mouvement système Paucksch.

Fermentation des moûts à levains

460. La mise en fermentation des moûts à levain se fait au début du travail par addition de levure et, en travail normal, par l'addition de la *levure-mère* provenant du levain précédent.

La levure dont on se servait jusqu'ici provenait généralement des fabriques de levure pressée, préparée pour la boulangerie; actuellement on se sert beaucoup, surtout en Allemagne, de levures pures et sélectionnées préparées par les laboratoires de microbiologie, notamment de la levure race II préparée par l'Institut de Distillerie de Berlin.

Une fois le travail normal établi, on se sert de *levure mère*. On appelle ainsi un petit volume de levain, qu'on prélève d'un levain précédent et qu'on con-

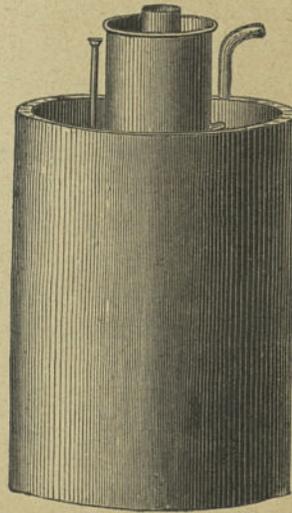


Fig. 247. — Seau à levure-mère.

serve dans un seau en cuivre maintenu à 10-12° C en le plongeant dans un courant d'eau froide.

Fermentation du moût principal

461. La mise en fermentation du moût principal préparé en saccharifiant par le malt des pommes de terre, du maïs, etc., se fait par l'addition du levain préparé comme nous l'avons expliqué. Quand on refroidit dans le macérateur, on ajoute le levain au moût pendant le refroidissement au moment où sa température peut être supportée sans inconvénient pendant un peu de temps par la levure, ou au moment où ce moût est refroidi jusqu'à sa température de mise en fermentation.

Quant on refroidit au moyen d'un réfrigérant tubulaire, on ne peut ajouter le levain qu'au moût complètement refroidi se trouvant dans la cuve à fermenter.

Il y a avantage à ajouter le levain dans le macérateur quand la température est à 30-32° C et à continuer ensuite le refroidissement de toute la masse ; le mélange se fait ainsi beaucoup plus intimement que quand il a lieu dans la cuve à fermenter où on est obligé d'agiter à la main à l'aide d'un mouveron.

La température de mise en fermentation varie :

1° *Suivant la concentration.* — La température initiale doit être d'autant plus basse que le moût est plus concentré. La fermentation est en effet un phénomène exothermique, c'est-à-dire qu'elle dégage de la chaleur ; et un moût qui fermente s'échauffe d'autant plus qu'il est plus concentré.

2° *Suivant les dimensions des cuves.* — Le moût s'échauffe d'autant plus qu'il est sous un volume plus grand dans la cuve, et à égalité de volume, l'échauffement est d'autant plus grand que le diamètre de la cuve est plus petit, la surface exposée au refroidissement étant moindre.

3° *Suivant la température ambiante.* — Il est évident que la température initiale devra être d'autant plus élevée que la température extérieure sera plus basse, c'est-à-dire qu'en hiver le moût devra, au début de l'opération, être plus chaud qu'en été.

4° *Suivant l'énergie du levain.* — La température initiale doit être d'autant plus élevée que le levain est moins énergétique. Si au lieu

d'un levain on se sert de levure de bière, on choisira une température initiale plus basse qu'avec un levain.

5° *Suivant les moyens de réfrigération dont on dispose.*— Aujourd'hui, pour la fermentation des moûts de pommes de terre et de grains, on installe généralement dans les cuves des réfrigérants qui permettent de régler exactement la température du moût et d'empêcher que celle-ci ne monte trop. Ces réfrigérants ne sont généralement pas immobiles, mais reçoivent un mouvement vertical alternatif, comme nous l'avons expliqué pour les levains. Ce système présente le double avantage de faciliter le dégagement de l'acide carbonique produit par la fermentation et de donner une meilleure utilisation à la fois de la surface réfrigérante et de l'eau de réfrigération.

Conduite de la fermentation des moûts de matières amylacées

462. On distingue dans la fermentation des produits provenant de la saccharification des matières amylacées, trois périodes :

- 1° Celle de la fermentation préliminaire ;
- 2° Celle de la fermentation principale ;
- 3° Celle de la fermentation complémentaire.

Fermentation préliminaire. — Quand le moût a reçu le levain et se trouve dans la cuve à fermenter, il se passe un certain temps pendant lequel le liquide paraît rester immobile ; il ne se dégage que très peu de gaz, et la température s'élève à peine. Mais si on examine le moût au microscope, on s'aperçoit que la levure a bourgeonné et s'est fortement multipliée. Nous savons que c'est vers 27-28° C que la levure se reproduit le plus activement; à une température de 20°, la reproduction est beaucoup plus lente, mais la levure se nourrit plus fortement et est plus énergique. Plus les moûts à fermenter sont concentrés, plus il est nécessaire d'avoir une levure énergique. Pour avoir à la fois beaucoup de levure et une levure très énergique, le mieux est donc d'ajouter le levain dans le macérateur et de ne pas commencer avec une température trop élevée dans les cuves à fermenter.

Fermentation principale. — C'est la période de fermentation du maltose; la levure, s'étant reproduite au point d'être en grande

abondance, dédouble rapidement le maltose en deux molécules de dextrose qu'elle décompose immédiatement en alcool et en acide carbonique qui se dégage. Le liquide a une tendance à s'échauffer rapidement vers 30-31° C, mais on modère l'élévation de température pour ne jamais dépasser 28-30° C.

Fermentation complémentaire. — C'est la période de la fermentation de la dextrine qui se forme toujours en même temps que le maltose. Quand tout le maltose est à peu près décomposé, la fermentation se ralentit tellement qu'elle paraît s'arrêter. Cependant la proportion d'alcool continue à augmenter lentement et il se dégage encore de l'acide carbonique.

Nous avons vu que c'est l'un des produits de la saccharification, le maltose, qui empêche l'amidon de se transformer complètement en ce sucre et que la dextrine se transforme à son tour en maltose si on enlève l'excès de celui-ci par un moyen quelconque. Après la fermentation principale, la diastase qui se trouve toujours dans le moût transforme la dextrine $C^6 H^{10} O^5$ en maltose $2 C^6 H^{10} O^3 + H^2 O = C^{12} H^{22} O^{11}$ que la levure décompose à son tour. Il importe beaucoup que cette réaction ait lieu, sinon le rendement en souffrirait beaucoup. Pour cela il faut qu'on ait soin de ne pas affaiblir la diastase pendant la saccharification et que la fermentation soit aussi pure que possible; s'il se développe beaucoup d'acides pendant la fermentation, la diastase est affaiblie et la transformation de la dextrine ne se fait qu'incomplètement. Les moûts mis en fermentation accusent généralement une acidité de 1 gr. 25 à 2 gr. par litre; à la fin cette acidité ne doit pas dépasser 2 gr. à 3 gr., c'est-à-dire que l'augmentation d'acidité ne doit pas dépasser 0 gr. 5 à 1 gr.

Anciennement on s'arrangeait toujours pour avoir à la fin de la fermentation une température de 32 à 34° C.: même quand on employait un réfrigérant, on arrêtait l'eau assez tôt pour atteindre finalement cette température. Les recherches de Foth et de Delbruck ont établi que les températures les plus favorables pour la fermentation principale sont situées entre 25 et 30 C. et que l'optimum est de 28° C. Partant de là, beaucoup de distillateurs ont monté des réfrigérants dans leurs cuves (fig. 248) et se sont interdit de dépasser cette température optima; mais beaucoup d'autres, tout en modérant l'échauffement de la cuve, ont continué de laisser monter la température jusqu'à 30° C.

D'après les essais de B. Hesse, une température de 30° C. pendant la fermentation principale ne présente aucun inconvénient,

mais il est prudent de se tenir un peu plus bas, vers 25-28°, pendant la fermentation secondaire.

Nous pensons qu'une température de 30° C. peut être fort dangereuse pour les moûts très concentrés et par suite très riches en alcool comme ceux que l'on prépare en Allemagne, mais que le

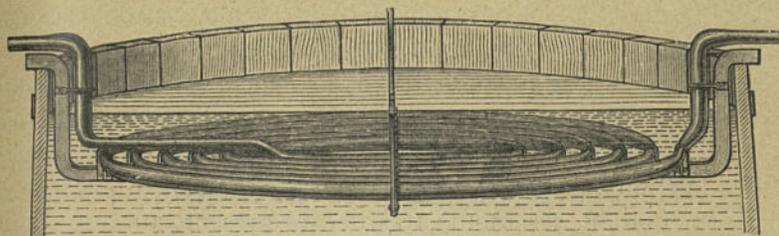


Fig. 248.

danger est moins grand pour les moûts de concentration plus faibles tels qu'on les fait en France, et que pour ceux-ci une température de 30° C. est plutôt avantageuse. C'est du moins ce qui a été constaté dans un grand nombre de distilleries de notre connaissance.

Concentration des moûts. — Fermentation des moûts très épais

463. L'impôt étant établi en Allemagne, sur le volume de moût, les distillateurs de ce pays étaient obligés de faire des moûts très concentrés pour tirer d'un petit volume le plus d'alcool possible. Pendant longtemps on a admis que dans un travail à moût épais, la matière première était mal utilisée, en sorte que ce système d'impôt conduisait à un travail irrationnel. Maercker fit des essais à la distillerie de Trotha, près de Halle, et arriva à ce résultat inattendu, qu'un travail à densité plus élevée conduisait à une fermentation plus pure. Ceci n'était d'abord qu'un résultat pratique, mais acquit bientôt une certaine importance scientifique, parce qu'on trouva la cause de la plus grande pureté de la fermentation.

Les travaux scientifiques de Traube avaient montré que l'alcool est un poison pour les bactéries, et que, par conséquent, des moûts riches en alcool étaient moins sujets à s'acidifier. Il était donc clair que dans un moût dilué, il devait se produire une plus forte perte par acidification que dans un moût concentré.

La dose d'impuretés qui se développe aux dépens du sucre

pendant la fermentation n'est pas proportionnelle à la concentration mais au volume du moût, en sorte que dans un moût deux fois plus concentré, il se forme proportionnellement moins d'impuretés que dans un moût moins concentré.

Mais dans un moût si concentré, véritable cataplasme, le dégagement de l'acide carbonique devient difficile, par suite du peu de mobilité de ce moût. L'accumulation de l'acide carbonique étant nuisible à la fermentation, on a cherché à renforcer le mouvement naturel du moût par un mouvement artificiel, et on a atteint ce résultat en communiquant un mouvement aux serpentins réfrigérants. En se déplaçant le serpentin enlève une partie de l'acide carbonique (Voir fig. 246).

La fermentation des moûts très denses présente un autre avantage au point de vue des drêches; celles-ci étant plus concentrées sont plus nutritives et, si on est dans la nécessité d'en concentrer une partie, cette opération peut se faire avec des appareils plus petits et avec une plus faible dépense de charbon.

Il est en outre utile de faire ressortir qu'un travail à moûts épais exige moins d'eau pour le refroidissement du moût saccharifié, mais qu'il en faut davantage pour la réfrigération des cuves. Les moûts étant plus concentrés, il faut moins de volume pour les loger, mais la fermentation étant très longue et durant de 72 à 96 heures, la capacité productive du matériel de cuverie reste la même.

Emploi des antiseptiques dans la fermentation

464. L'acidification lactique coûte très cher puisqu'elle fait perdre tout l'amidon qui sert à former l'acide lactique et qu'en outre les bactéries lactiques restées dans le levain continuent à former un peu d'acide pendant la fermentation du moût principal. On a longtemps cherché à remplacer cette opération par une addition directe d'acide, mais les acides organiques coûtent trop cher et les acides minéraux n'ont généralement pas donné de bons résultats: les matières amylacées sont trop pauvres en sels à acides organiques pour que l'addition d'un acide minéral puisse, par déplacement, donner naissance à une acidité organique assez forte comme cela se passe pour les betteraves et les mélasses. Un acide minéral qui a cependant donné de bons résultats est l'acide fluorhydrique, grâce à un mode d'emploi tout nouveau imaginé par Effront.

Procédé de l'accoutumance d'Effront. — Ce procédé consiste à cultiver les levures dans des moûts contenant des doses croissantes de composés fluorés : d'abord 1 à 2 gr., puis 4 gr., puis 7 gr., et enfin 30 gr. d'acide fluorhydrique par hecto. Le dernier levain contenant 30 gr. d'acide fluorhydrique par hecto est ensuite ajouté dans un moût contenant de 5 à 10 gr. d'acide fluorhydrique. Cette dose d'antiseptique suffit à enrayer le développement des bactéries, tandis qu'elle n'a aucune action sur la levure accoutumée à une dose plus forte d'acide fluorhydrique.

La saccharification se fait comme d'habitude, mais comme c'est la levure acclimatée qui est chargée de tenir tête aux microparasites du moût principal légèrement fluoré, il n'est plus nécessaire de produire une stérilisation partielle en portant la température vers 70 et même 75°, et on ne dépasse pas 60° C.

Quand la saccharification a duré environ une heure, on refroidit vers 28-30° C., on ajoute le composé fluoré, et un quart d'heure plus tard on ajoute le levain.

La fermentation lactique étant supprimée, il est inutile de faire des levains spéciaux avec du malt, et on prélève le moût à levain dans le moût saccharifié qu'on a sous la main dans le macérateur au moment où l'on a besoin de préparer un levain pour une saccharification qui sera faite vingt-quatre heures plus tard.

Ce moût-levain est mis en levure à 25-27° C. Au bout de vingt-quatre heures, le levain doit être mûr, son acidité, à ce moment, ne doit pas dépasser 1 gr. à 1 gr. 5. La proportion de levain à employer est de 4 p. 100 du volume du moût principal; une proportion de levain trop forte serait, paraît-il, plus nuisible qu'utile. D'après Effront, on peut aussi fort bien faire une fermentation continue comme avec la betterave, mais alors il faut employer une forte dose d'acide fluorhydrique, au moins 10 gr. par hecto. Dans ces conditions les résultats seraient meilleurs qu'avec un travail discontinu.

On remplace parfois l'acide fluorhydrique par d'autres composés fluorés, notamment le fluorure d'aluminium. L'acide fluorhydrique perd sa force et est très dangereux à manier, tandis que le fluorure est sans danger. Il forme de gros cristaux à 50 % d'eau, qui se dissolvent très bien dans 40 % d'eau bouillante. On l'emploie à raison de 50 gr. par hectolitre de levain.

D'après Effront, l'acide libre serait encore préférable.

Emploi de l'acide sulfureux et de ses sels

465. D'après Maercker, l'acide sulfureux est inférieur à l'acide fluorhydrique ; une levure acclimatée à cet antiseptique est inférieure à celle qui a été acclimatée à l'acide fluorhydrique. En outre cet acide coûte cher et il faut l'employer à forte dose d'environ 160 gr. par hecto. Il donne fréquemment une mauvaise odeur à l'alcool et il attaque les appareils. Toutes ces raisons nous dispensent d'en dire davantage.

Emploi de l'aldéhyde formique ou formol

466. Le formol (formaline, formaldéhyde, méthanal) a d'abord été conseillé comme antiseptique en brasserie et en distillerie, par Windisch (8, 248, p. 272). De même que pour l'acide sulfureux, ce corps a été utilisé comme désinfectant, puis on voulut l'employer comme l'acide fluorhydrique dans le procédé d'Effront. Mais le résultat est inférieur à celui que donnent l'acide fluorhydrique et le fluorure d'aluminium, ce qu'il faut sans doute attribuer à ce que ce composé ne présente pas les propriétés excitantes des dérivés fluorés. Cependant, comme l'action du formol sur les levures n'a pas encore été complètement étudiée, il convient de ne pas émettre encore un jugement définitif sur la valeur de cet antiseptique.

Conditions que doivent présenter le matériel et le local de fermentation

467. La salle des cuves ou *cuvierie* doit être construite de façon à ce qu'on puisse y maintenir une température aussi régulière que possible. On la dispose toujours au-dessus du niveau du sol pour permettre l'écoulement facile des eaux sales et le renouvellement de l'air. Comme l'acide carbonique s'accumule surtout à la partie inférieure de la salle, une aspiration d'air à cet endroit est d'un excellent effet. Pour la réaliser il suffit d'installer sous le dallage une canalisation en maçonnerie ou en grès, de 10 à 20 cm. de diam., qui traverse la cuvierie. Aux endroits où cette canalisation

traverse les murs, on perce dans ceux-ci un trou qui remonte obliquement pour déboucher au-dessus du dallage et on pose à cet endroit une petite trappe glissant dans un cadre à coulisse. Ce conduit étant mis en communication avec la grande cheminée, on obtient un excellent tirage; mais pour ne pas diminuer le tirage des générateurs, la conduite doit déboucher directement dans la cheminée ou dans la gargouille au-delà du grand registre. La cuverie doit être parfaitement éclairée en tous ses points, pour permettre un contrôle facile de la propreté (401).

On rencontre souvent des cuveries où la toiture est tellement basse que les bulles d'acide carbonique en se dégagant avec les vésicules de moût viennent salir les combles. La toiture doit toujours être suffisamment élevée pour que ce fait ne puisse se produire.

Le sol et les murs de la cuverie doivent être en matériaux aussi peu poreux et aussi unis que possible. Si les murs sont en briques, il faut recouvrir le bas d'un *solin* en ciment sur une hauteur de 50 cm. à 1 m. Le reste du mur doit être recouvert de vernis émail. Pour économiser du vernis émail, le mieux est d'appliquer d'abord une ou deux couches de crépi à la chaux qu'on enduit ensuite d'une ou deux couches de vernis.

On peut recommander aussi les briques vitrifiées ou cimentées.

Comme pavage, on peut employer le ciment ou l'asphalte qui tous deux donnent un dallage uni sans aucun joint. Mais le ciment se fendille facilement, et une fois qu'il est abimé il faut tout démolir; l'asphalte ne se fendille pas, est imperméable à l'eau, et peut toujours être refondu quand il est abimé; mais par contre il s'use assez vite. On peut aussi employer les grandes dalles bleues dites de Tournai, qui sont assez économiques, mais qui présentent des joints et sur lesquels les ouvriers glissent facilement.

Les cuves de fermentation sont généralement en bois. Le chêne est ce qu'il y a de mieux; mais comme il coûte très cher, on emploie le sapin résineux qui est excellent. Dans les distilleries de betteraves on emploie beaucoup de cuves en tôle dont on se trouve fort bien.

Quant à la capacité des cuves, on les fait généralement très petites en Allemagne pour le travail des matières amylacées par moûts épais; on ne dépasse pas 50 hectos, tandis que dans les pays où l'impôt est basé sur le produit fabriqué, et où on travaille par suite des moûts moins riches, on emploie des cuves ayant de 100 à 500 hectol.

Pour le travail des patates par les acides ou par le malt, les cuves employées aux îles Açores, pour des moûts accusant 4,5 à 5 de densité (12 à 13° Balling), ont 5 à 600 hectol.

Pour la fermentation des moûts de mélasse, on rencontre des cuves contenant jusqu'à 1.000 et même 2.000 hectol. Les petites cuves réclament trop de main-d'œuvre pour les nettoyages ; les grandes s'échauffent beaucoup pendant la fermentation et exigent par conséquent un serpentín et une grande quantité d'eau qu'on n'a pas toujours à sa disposition. Elles présentent encore trois inconvénients plus graves : 1° S'il arrive un accident, la perte peut être considérable ; 2° Elles restent trop longtemps en distillation et le moût s'acidifie fortement ; 3° On perd beaucoup de place dans la cuverie. Pour toutes ces raisons nous croyons que les capacités moyennes sont les meilleures et qu'en général il convient de ne pas dépasser 4 à 500 hectol.

Dans beaucoup de distilleries de betteraves, de mélasses, de grains, de patates douces, on ménage au dessous des cuves une citerne dans laquelle on vide les cuves ayant complété leur fermentation et dans laquelle puise la pompe à vin alimentant le bac à vin ou la colonne. L'emploi de cette citerne nous paraît très logique.

Supposons, en effet que, la distillation d'une cuve touchant à sa fin, le vin soit attaqué par le ferment acétique ; si le nettoyage n'est pas parfait, on contaminera la fermentation suivante. Avec la citerne ce danger est évité ; le même moût y séjourne trop peu de temps pour pouvoir s'altérer gravement. Un autre avantage est que les cuves sont tenues moins longtemps, d'où augmentation de la capacité productive de ces cuves. Il faut naturellement vider cette citerne assez fréquemment et la tenir très propre.

Pour l'alimentation des cuves on rencontre souvent des goulottes en bois ; inutile de dire que ce système est très mauvais. Les goulottes en bois, doublées intérieurement en cuivre, sont bonnes, surtout pour les moûts épais et les jus qui moussent fortement. Mais le mieux est encore d'adopter des tuyaux en cuivre, qui sont constamment balayés à l'intérieur par le courant du moût, qu'on peut facilement laver à l'eau et rincer à la vapeur.

La vidange des cuves se fait par des tuyaux en cuivre avec robinets. Pour éviter toute erreur, il est bon de munir le trou de vidange d'un long tampon qu'on n'enlève qu'au moment de la vidange.

Le meilleur antiseptique pour le nettoyage des cuves est le

chlorure de chaux. On lave d'abord à fond avec de l'eau, puis avec une solution de chlorure de chaux à 1 p. 100 ; on barbouille ensuite les parois et le fond de la cuve avec un lait épais de chlorure de chaux, et enfin on les lave de nouveau à l'eau.

Les tuyautages doivent être l'objet de toute l'attention du distillateur. Chaque fois qu'il éprouve des mécomptes de rendement qu'il ne s'explique pas, il doit examiner son moût, et si celui-ci est contaminé sans cause apparente, il devra voir si les tuyaux par où passe le moût ont été bien stérilisés.

Le danger des tuyautages résulte principalement de ce que leurs parois sont toujours humides, et que leurs extrémités sont presque constamment ouvertes. Il s'ensuit qu'elles sont le siège d'une circulation d'air constante, et, comme elles débouchent dans des locaux dont l'air est plus ou moins contaminé par des organismes nuisibles, elles sont envahies par ces organismes.

Une grande partie des germes qui pénètrent ainsi dans les tuyaux est fixée par les parois humides, en quantité d'autant plus grande que la canalisation est plus longue, qu'elle présente plus de coudes et que sa surface est moins lisse.

Pour toutes ces raisons, lorsqu'on installe des conduites à moût, il faut n'employer que des tubes en cuivre lisse, étiré ; éviter les grandes longueurs et les coudes, s'arranger de manière que les tuyaux soient rapidement démontables et puissent être facilement visités.

Que la canalisation soit longue ou courte, elle apporte toujours un grand danger d'infection, car il reste toujours sur ses parois une petite quantité de moût qui subit, il est vrai, une dilution considérable par les lavages, mais qui offre néanmoins un terrain favorable pour le développement abondant des ferments de maladie. Le fait se produit plus facilement en été, ou dans les canalisations qui circulent dans des locaux chauds.

Lorsque les conduites ne sont pas nettoyées fréquemment, il s'y forme, par évaporation de l'eau, un enduit collant, constitué par de l'extrait de moût, que favorise beaucoup la multiplication des ferments de maladie. Pour la destruction de ces foyers d'infection, il faut munir les tuyaux d'orifices d'introduction de vapeur. Généralement on pratique la désinfection en ouvrant le robinet de vapeur et laissant circuler celle-ci jusqu'à ce que le tuyau soit chaud et qu'on ne puisse plus y appliquer la main.

On s'imagine à tort que l'opération ainsi pratiquée est effi-

cace. La désinfection ne peut être complète que si la vapeur circule au moins pendant une 1/2 heure à partir du moment où la vapeur sort en jet continu, sans se condenser, par l'orifice du tuyau.

Cette désinfection incomplète et superficielle n'est pas seulement inefficace ; elle est nettement nuisible. Les portions d'extrait adhérentes aux parois sont simplement dissoutes par le passage de la vapeur et élevées, d'une manière passagère, à une température favorable au développement des germes présents. En démontant une canalisation qui est ainsi imparfaitement désinfectée, on peut se convaincre que les tuyaux ne sont propres que jusqu'à 60 cm. environ de l'orifice d'entrée de la vapeur ; le reste est recouvert d'une couche gluante d'extrait, dans laquelle fourmillent des bactéries et des levures sauvages.

Il est aujourd'hui démontré que l'état de saturation de la vapeur représente une des conditions essentielles de la désinfection, et que l'efficacité de la vapeur diminue très rapidement à mesure que sa température s'abaisse. Déjà à 95° C., la vapeur est bien moins active qu'à 100°, et à 85° C., on n'arrive pas à détruire des spores relativement peu résistantes, même après une heure d'action. La vapeur surchauffée a une puissance de désinfection plus grande, mais agit moins vite que la vapeur sans pression ; de plus, la présence d'air abaisse notablement son pouvoir désinfectant.

Il suit de ces observations que, pour désinfecter une canalisation, *il est indispensable de commencer par en chasser tout l'air à l'aide de la vapeur* et de laisser passer le courant assez longtemps pour atteindre la température de destruction certaine de tous les germes.

Lorsqu'on a affaire à des pompes, ou à une canalisation très longue, le mieux est de faire parcourir les tuyaux par de l'eau tenue constamment en ébullition par un jet de vapeur.

Traitement des matières amylacées par les mucédinées.

468. De temps immémorial les habitants des pays producteurs de riz, la Chine, le Japon, le Tonkin, les îles Canaries, etc., ont préparé des boissons alcooliques en soumettant du riz cuit à l'action de certaines moisissures. Il est curieux de constater que, pendant que les moisissures étaient ainsi utilisées dans les pays

extra-européens, en Europe, au contraire, elles vivaient simplement en parasite sur malt dont ils étaient le plus grand ennemi. Actuellement les choses ont changé, et les moisissures semblent devoir tôt ou tard se substituer complètement à leur hôte.

En 1890, le japonais Takamine essaya d'introduire dans les distilleries des États-Unis, le koji comme succédané du malt. Son procédé était le suivant. On traitait par la vapeur du son à l'état sec qui, de la sorte, se trouvait à la fois stérilisé et convenablement humidifié. On étendait la masse obtenue sur une aire et on l'ensemait avec les spores du champignon: celui-ci se développait en peu de jours sur la surface et dans toute la masse du son, en produisant une élévation sensible de température, et l'on obtenait ainsi la matière saccharifiante. On délayait avec de l'eau, soit à l'état frais, soit après dessiccation, et on employait la diastase obtenue pour la saccharification à la place du malt.

Cette solution diastasique possédait la même activité que la diastase du malt, c'est-à-dire qu'elle dissolvait complètement l'amidon à l'état d'empois et que le malt fermentait intégralement après addition d'une quantité suffisante de levure.

Ce procédé permettait de supprimer l'usage du malt pour la saccharification, mais il présentait plusieurs inconvénients. La diastase ainsi préparée s'altère très vite et il est, comme avec le malt, impossible de travailler aseptiquement.

Pour éviter l'altération de la diastase, il aurait fallu soumettre toute la matière amylicée à l'action de la moisissure; mais alors il fallait éviter la combustion du sucre par la moisissure qui l'avait produit. Pour cela il fallait transformer ce sucre en alcool au fur et à mesure de sa production c'est-à-dire faire la saccharification et la fermentation simultanées comme l'avait déjà cherché à le faire avec le malt, M. G. Porion (T. I, p. 411).

A propos du procédé Porion nous avons fait observer que l'absence de toute stérilisation entre la saccharification et la fermentation devait forcément donner un travail impur. Pour supprimer radicalement cet inconvénient, il faut opérer aseptiquement. Mais la stérilisation et le travail aseptique dans des cuves de 200 à 1.000 hectolitres comme celles employées en distillerie, présente de grandes difficultés mécaniques. Toutes ces difficultés ont cependant été surmontées par MM. Boidin et Collette qui ont remplacé tous les aléas d'une fermentation en cuve ouverte par la levure, précédés de toutes les complications de la saccharification préalable, par une opération unique dont toutes les phases

peuvent être contrôlées, opération revêtant de ce fait une sécurité inconnue jusqu'ici en distillerie (1).

La nécessité de la fermentation complémentaire dans le travail par le malt entraîne avec elle une conséquence désastreuse : l'impossibilité d'opérer aseptiquement. Le moût ne saurait être bouilli sans qu'il se produise une destruction totale de l'amylase qu'il est indispensable d'y conserver intacte ; et, d'autre part, l'ébullition seule est capable de détruire les germes nombreux apportés dans le moût par le malt et par l'eau.

Dans le travail par les mucédinées, le moût devient stérilisable. Peu importe, en effet, qu'il renferme de l'amylase, puisque la moisissure est capable d'en fabriquer. De plus, comme la moisissure saccharifie énergiquement l'amidon, il est inutile que le grain ait été parfaitement saccharifié ; il suffit que son amidon soit solubilisé en majeure partie, la moisissure se chargeant de faire le reste du travail. Il résulte de ce dernier fait que l'emploi du malt se trouve restreint au strict minimum nécessaire pour opérer cette solubilisation.

Nous allons maintenant étudier en détail les diverses opérations.

Cuisson. — La cuisson se fait comme nous l'avons exposé au chapitre. A la distillerie de M. Collette on traite le maïs en grains entiers. Le maïs étant introduit dans des cuiseurs Henze ordinaires avec deux fois son poids d'eau, on cuit pendant 1 heure à 1 k. 1/2, puis, pendant 1 h. 20, à 3 kilog. ; on monte ensuite en 20 minutes à 4 kilog. et on fait la vidange sous cette pression.

Liquéfaction. — L'empois arrive dans une cuve matière ou macérateur renfermant à l'avance un *lait de malt* ; on règle l'arrivée de la masse pour que la température finale du mélange ne dépasse pas 70°. On emploie pour cette liquéfaction 1 p. 100 d'orge à l'état de malt vert. Une saccharification complète n'est pas nécessaire bien qu'il soit bon d'utiliser autant que possible le pouvoir saccharifiant du malt.

Stérilisation. — Elle peut se faire dans la cuve-matière même ou dans un stérilisateur spécial. A la distillerie de l'Ancre appartenant à M. Jean Meeus, à Anvers, où l'on opère dans une cuve-matière avec réfrigérant de Pampe (295), aussitôt la liquéfaction terminée, la masse entière est chauffée jusqu'à l'ébullition dans la cuve-matière et passe ensuite en cet état dans la cuve de fermentation. Pour obtenir une concentration convenable, on continue d'ajouter de l'eau bouillante.

(1) Annales de la Brasserie et de la Distillerie, juillet 1898.

A la distillerie de Seclin, le moût passe dans un stérilisateur constitué par un immense autoclave analogue à l'appareil Hollefreund. Cet appareil, ayant servi dans le temps à la saccharification du maïs par les acides, est représenté par la figure 116 (Tome I, p. 420). On chauffe à une pression d'environ 1 k. qu'on maintient pendant 20 minutes, puis on chasse le moût dans les cuves de fermentation.

Suivant le mode de traitement, le moût filtré donne, avec l'iode, une réaction variant du jaune au rouge; la portion insoluble du moût donne la réaction bleue, provenant en majeure partie des grumeaux d'amidon gélatinisé, en partie du malt.

Cuves de saccharification-fermentation. — Ces cuves (fig. 249 et 250) sont en tôle et ont un diamètre égal à leur hauteur. Elles portent dans leur axe vertical un arbre B armé de bras servant d'agitateur; cet arbre traverse le couvercle supérieur et est mis en mouvement par un engrenage conique; un calfat hydraulique T assure l'étanchéité. Chaque cuve est munie en outre d'un tuyau d'*emplissage* C, d'un tuyau de *dégagement* K, de l'acide carbonique, plongeant dans un vase à eau S, d'un filtre à coton D, d'un tuyau d'injection d'air EO, d'un tuyau de vidange F, d'un tuyau circulaire percé de petits trous pour le refroidissement par ruissellement L, d'un fourreau pour le thermomètre H, d'une tubulure d'ensemencement I, d'une tubulure pour la prise d'échantillons J. Sur le tuyau d'injection d'air E se trouve un tuyau d'injection de vapeur M et un tuyau d'échantillon d'air Q.

Le filtre à coton est réuni au tuyau d'injection d'air par un tuyau à raccord.

Un trou d'homme, placé à la partie inférieure de la cuve sert au nettoyage. Une glace placée à la partie supérieure de la cuve sert de regard pour voir le niveau du moût dans la cuve.

Dans cet appareil on a supprimé partout où on a pu, l'emploi des robinets, qui, lorsqu'ils atteignent certaines dimensions, ne sauraient être étanches quand ils doivent subir les alternatives de températures élevées et basses; en chaque point où le placement d'un robinet s'est trouvé indispensable, on s'est arrangé pour que les fuites se produisent toujours de l'intérieur vers l'extérieur.

Marche de l'opération. — Dès qu'une certaine quantité de moût est dans la cuve, on y injecte de la vapeur de façon à entre-

tenir le moût en ébullition; cette ébullition est maintenue jusqu'à ce que la cuve soit complètement pleine.

Pendant l'ébullition des premières charges, la vapeur condensée

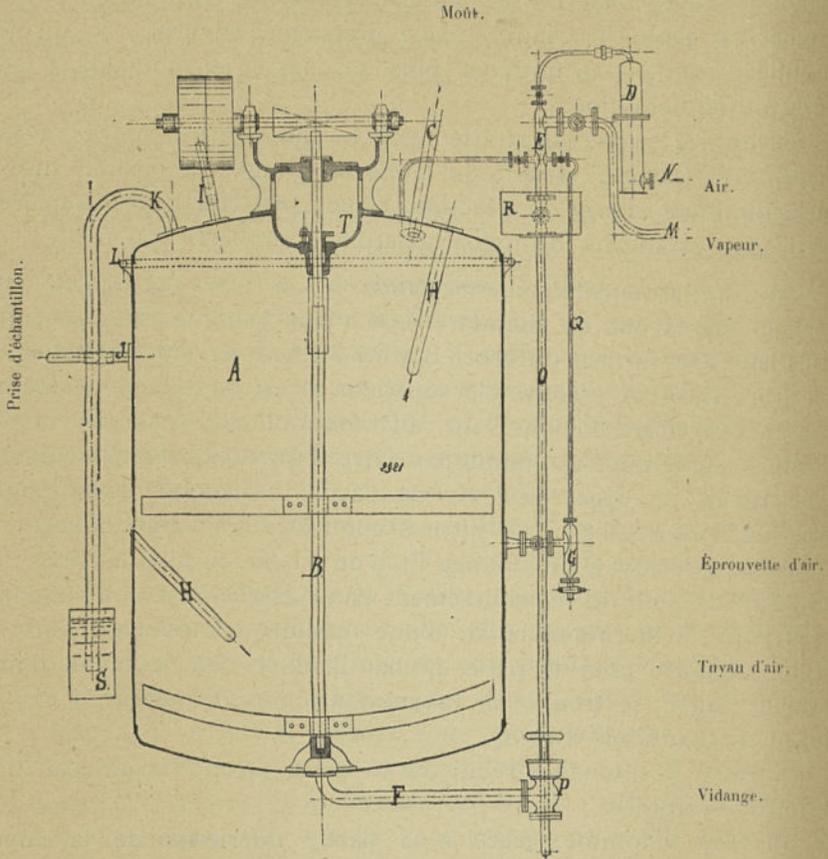


Fig. 249. — Cuve de saccharification-fermentation par les mucédinées (construction Warin et Defrance).

LEGENDE. — A, cuve; B, agitateur, C, Arrivée du moût venant de la cuve-matière ou du stérilisateur; D, filtre à coton; E, croix de distribution d'air ou de vapeur; F, vidange de la cuve; G, éprouvette d'essai d'air; H, H, gaine pour les thermomètres; I, tubulure d'ensemencement; J, prise d'échantillons; K, dégagement d'acide carbonique; L, tuyau de réfrigération par ruissellement d'eau sur la paroi; M, arrivée de vapeur dans la croix; N, arrivée d'air comprimé dans le filtre à coton; O, tuyau amenant de l'air stérilisé ou de la vapeur pour la stérilisation; P, soupape de vidange avec cuvette antiseptique p; Q, purge de la croix; R, cuvette antiseptique, S, cuvette à eau où se lave l'acide carbonique en se dégageant; T, calfat hydraulique avec liquide antiseptique.

sur les parois de la cuve entraîne avec elle les germes qui pourraient se trouver sur ces parois; ces germes arrivent dans un

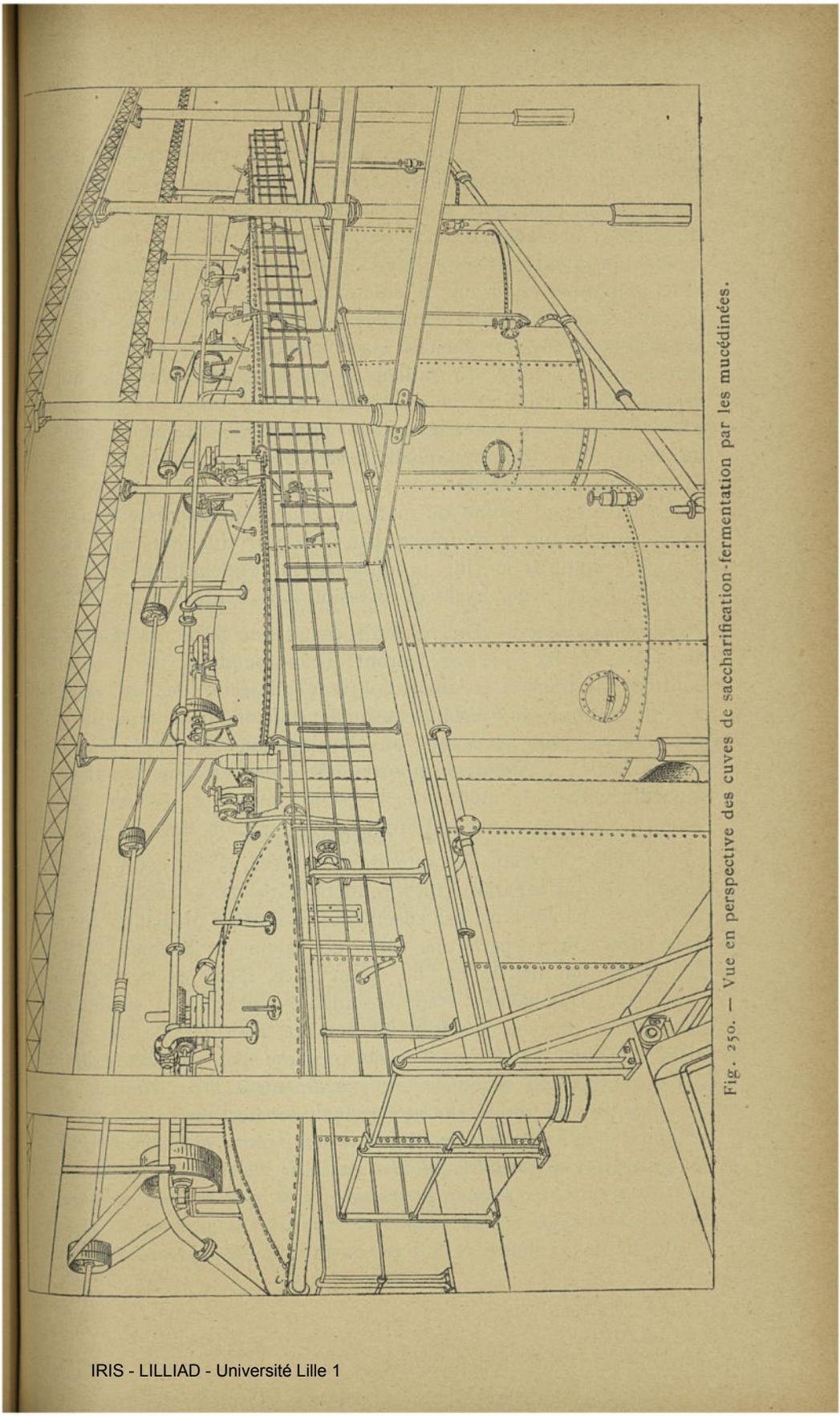


Fig. 250. — Vue en perspective des cuves de saccharification-fermentation par les mucédinées.

liquide acide bouillant et sont détruits. La vapeur qui se dégage en courant lent par l'orifice supérieur de la cuve empêche, en outre, jusqu'à ce que le remplissage soit achevé, toute rentrée de germes provenant de l'air extérieur.

L'acide ajouté aux premières charges serait gênant pour le fonctionnement ultérieur de la mucédinée qu'on introduira dans la cuve. Il résulte, en effet, des recherches de M. Boidin, que la formation de la diastase saccharifiante et son action sont gênées par l'acidité du milieu. Il est donc indispensable que le milieu soit voisin de la neutralité. Quand on a affaire à des eaux calcaires, la quantité d'acide ajoutée aux premières charges de moût est si minime qu'elle se trouve neutralisée par les premières charges suivantes.

La cuve étant pleine de moût en ébullition, on cesse l'injection de vapeur, et on la remplace par une introduction d'air stérile destiné à combler le vide produit par la condensation et à maintenir même un léger excès de pression dans l'intérieur de la cuve.

Refroidissement. — On refroidit ensuite en faisant ruisseler sur les parois de la cuve un courant d'eau, pendant que l'agitateur continue de tourner et qu'on continue d'injecter de l'air stérilisé.

On continue de refroidir jusqu'à ce qu'on ait obtenu la température la plus favorable au développement de la *mucédinée saccharifiante*, c'est-à-dire environ 38° : on ensemence alors la mucédinée dans le moût.

Ensemencement. — Pour l'ensemencement on ne se sert pas, comme on pourrait s'y attendre, de levains ou d'un appareil continu de propagation. La production de la semence est discontinuë ; chaque cuve est ensemencée à l'aide d'un ballon Pasteur d'un litre. On prépare une série de ballons à la fois. Au fond de chacun on met 20 gr. de riz et 4 cc. d'eau et on stérilise à l'autoclave. Ces ballons étant ensemencés, grâce à la surface que présente le riz il se produit un nombre considérable de spores, mais le poids de ces spores ne présente pas un décigramme. Cette quantité de semence est certainement très minime pour des quantités de moût qui atteignent 1.000 hectolitres. *Ce qu'il y a de génial dans la découverte*, dit Delbruck, *réside précisément dans ce fait qu'on ait osé travailler avec des quantités de semence aussi minimes, qui ont permis d'appliquer le système de la culture pure absolue, et qu'on soit parvenu à faire pousser la moisissure dans du moût liquide.*

M. Boidin explique ce fait en disant que le nombre de spores

de moisissure ou de cellules de levure importe relativement peu et que ce qu'il s'agit d'obtenir, c'est une multiplication très rapide.

Pour faire l'ensemencement, on prend un ballon Pasteur préparé comme il est dit ci-dessus et en même temps un ballon Pasteur contenant du moût clair stérile. Ouvrant les deux ballons, on verse un peu de moût sur les grains de riz couverts de moisissure et on agite pour délayer les spores dans le liquide, puis on fait passer spores et grains de riz dans la grande cuve; le moût sert à entraîner les spores hors du ballon.

En même temps on ensemece toujours du moût stérile contenu dans un tube à essai qui sert comme témoin pour s'assurer que la semence est pure. On prend également un échantillon d'air stérilisé. De cette façon s'il arrive un accident, on en connaît sûrement la cause.

Saccharification. — L'agitateur étant toujours en mouvement, on injecte doucement de l'air dans la cuve. La moisissure pousse de longs filaments mycéliens, qui au bout de 24 heures, remplissent toute la masse du moût. L'agitation maintient dans toute la cuve une température uniforme, mais son but essentiel est d'empêcher le mycélium de la mucédinée de former un feutrage à la surface du moût. C'est en obligeant la moisissure à vivre en profondeur qu'on l'empêche d'exercer ses propriétés comburantes; c'est un des points caractéristiques du procédé.

Au bout de 20 heures, on ne trouve plus à l'examen microscopique un seul champ qui ne renferme plusieurs filaments mycéliens. On possède alors dans un moût stérile la moisissure saccharifiante à l'état absolument pur, et son pouvoir diastasique est suffisant pour assurer la transformation complète de l'amidon et de la dextrine.

La réaction bleue fournie par l'iode devient plus faible, puis devient nulle. L'amidon insoluble disparaît petit à petit: on n'en trouve que des traces dans le moût fermenté.

Fermentation. — Le sucre produit disparaît en même temps; il est transformé en alcool. Les filaments de la moisissure se sectionnent et se désagrègent en globules analogues à ceux de la levure. La fermentation commence avec dégagement d'acide carbonique. Mais cette fermentation par la moisissure seule ne se ferait complètement qu'avec des moûts peu concentrés, car, comme nous l'avons vu, le pouvoir ferment des moisissures est plus faible que celui des levures. En tout cas cette fermentation serait trop lente

pour une opération industrielle, et il est nécessaire de recourir à l'emploi d'une véritable *levure cultivée* pour abrégier la durée de l'opération. On refroidit donc jusqu'à 33° c. et on ensemence 500 cc. d'une culture pure de levure correspondant à 3 ou 4 gr. de levure pressée et on continue d'injecter de l'air.

Cet ensemencement infime suffit à peupler de levure en 24 heures toute la masse et la fermentation devient très active.

La mucédinée ne gêne pas la levure ; c'est plutôt l'inverse : la levure gêne la mucédinée, à tel point que la croissance de celle-ci doit être terminée avant le développement de la levure.

Au bout d'un certain temps, on cesse l'injection d'air, et alors commence le travail de symbiose constaté pour la levure chinoise par le docteur Calmette, c'est-à-dire le travail simultané de deux organismes, la moisissure et la levure. Il suffit de laisser cette action se continuer pendant 2 jours pour avoir une fermentation complète. Le moût fermenté ne donne plus aucune coloration par l'iode, ni dans les parties insolubles, ni dans les parties claires du moût. Les savants anglais, MM. Horace Brown, Macfaiyen et Roscoa ont opéré sur la vinasse sortant de la colonne et n'ont observé aucune coloration. Il est clair que de l'amidon insoluble resté dans le moût se serait partiellement solubilisé pendant la distillation et se serait retrouvé dans le liquide filtré qu'on fait agir sur l'iode.

Avant l'ensemencement de la mucédinée, il y a une quantité considérable d'amidon en solution et en suspension ; on en trouve encore une forte proportion lors de l'ensemencement de la levure. La mucédinée attaque donc à la fois ces deux formes d'amidon et les fait disparaître complètement ; le microscope n'en révèle aucune trace.

En même temps que disparaît l'amidon, le sucre réducteur, dont la proportion a été en augmentant pendant le premier stade de la fermentation, alors que la levure n'avait pas encore subi un développement complet, décroît rapidement, et sa quantité tombe à zéro deux jours après l'ensemencement de la levure. La saccharification marche donc de pair avec la fermentation, d'un pas plus rapide au début, tant que toute la masse n'est pas envahie par la levure, laquelle regagne ensuite l'avance qu'avait la moisissure.

La cuve de fermentation reste occupée en tout cinq fois 24 heures. Cela n'a rien d'étonnant si l'on songe aux faibles quantités de semences utilisées qui doivent tout d'abord se multi-

plier et envahir la cuve. En faisant des levains on pourrait diminuer considérablement le temps de fermentation et même fermenter plus vite que par les anciennes méthodes basées sur l'emploi du malt, mais il a semblé jusqu'ici à M. Boidin qu'il était préférable d'éviter cette complication, quitte à installer quelques cuves de plus.

Distillation. — La distillation des moûts fermentés par les mucédinées ne présente rien de particulier. On envoie la vinasse soit dans les cuves à drêches si l'usine la vend ou l'emploie à l'état liquide, soit dans des filtres-presses, si on se propose de faire des tourteaux.

Rendement en alcool. — Rappelons d'abord que le rendement idéal de l'amidon correspondant à une scission de cet amidon en alcool et acide carbonique, est de 71 l. 60 d'alcool à 100°. En effet, 90 d'amidon ($C^6 H^{10} O^5 = 162$) donnent 100 de dextrose ($C^6 H^{12} O^6 = 180$) et le rendement idéal de 100 k. de dextrose est de 64 l. 45, ce qui donne bien pour 100 k. d'amidon $64,45 \times \frac{100}{90} = 71 \text{ l. } 60$.

Dans un contrôle rigoureux fait à Seclin par Horace Brown, ce savant a trouvé pour un maïs contenant 57,13 p. 100 d'amidon un rendement en alcool de 37 l. 81, soit 66 l. 18 par 100 k. d'amidon ou les $\frac{66,18 \times 71,60}{100} = 92,43$ pur du rendement idéal.

On sait que le rendement scientifique établi par Pasteur avec des levures pures est de 94 à 95 p. 100 du rendement idéal. Le rendement scientifique de l'amidon en admettant une transformation intégrale de cet amidon en dextrose et suivie d'une fermentation avec levure pure est donc de 67 l. 30 à 68 l. 02. Le rendement obtenu par M. Boidin n'est que 1 à 2 p. 100 inférieur au rendement scientifique de Pasteur.

Rectification. — L'alcool obtenu par ce nouveau procédé est plus pur et on obtient une plus forte proportion de bon goût.

Travail à moûts épais. — Au début de l'application de ce procédé, on se trouvait en présence d'un grave inconvénient. Il était impossible avec la mucédinée employée, l'*Amylomyces Rouxii*, de faire des moûts contenant plus de 4 1/2 p. 100 d'alcool et par conséquent de travailler plus de 12 k. de maïs à l'hectol. : quand on opérait sur des moûts plus concentrés, la transformation était incomplète.

(1) Fernbach. Annales de la brasserie et de la distillerie.

M. Boidin a alors cherché à travailler à moûts plus épais en remplaçant l'*Amylomyces Rouxii* par une mucédinée originaire du Japon, qu'il avait d'abord considérée comme étant l'*Euotium Aspergillus orizæ*, mais qui en diffère par son aspect et ses propriétés, et à laquelle il a donné le nom de *Mucor* β .

Ce *Mucor* β donnait au laboratoire des rendements plus élevés que l'*A. Rouxii*.

Les moûts fermentés étaient moins acides et contenaient moins de dextrine que ceux fournis par l'*A. Rouxii*.

En essayant d'ensemencer avec cette mucédinée une grande cuve de 300 hectos, M. Boidin aboutit à un échec complet, parce que ce *Mucor* a des tubes qui ne se sectionnent pas et ne produisent pas de spores ou conidies mycéliennes comme l'*A. Rouxii*. Le seul moyen de l'utiliser était donc d'ensemencer ses spores; de cette façon on peut obtenir, sous un poids très faible, un nombre considérable de plantes pour envahir rapidement le moût.

Mais il s'agissait de faire pousser ces spores. On croyait généralement jusque là que les spores pour germer avaient besoin de beaucoup d'oxygène. M. Boidin reconnut au contraire que les spores peuvent pousser dans un milieu privé d'oxygène libre, par exemple sur un moût stérile recouvert d'une couche d'huile ou de vaseline. L'ensemencement avec les spores pouvait donc réussir sans une forte aération, et par conséquent sans donner lieu à une forte perte par combustion. D'ailleurs M. Boidin a reconnu, comme nous l'avons déjà dit, que la combustion produite par les moisissures est nulle, quand on les fait vivre en profondeur. Quand on fait passer un courant d'air dans le liquide, leur multiplication est accélérée, mais leur énergie n'est pas suffisante pour produire une perte d'hydrates de carbone mesurable par l'analyse.

Avec le *Mucor* β on peut saccharifier et fermenter à fond des moûts à 18-20 kilos de maïs par hectol. M. Boidin a isolé une autre mucédinée trouvée sur un échantillon de riz du Tonkin, et qui lui a paru la meilleure jusqu'ici; il l'a appelée *mucor* γ . Ce *mucor* ne donnait qu'une acidité de 0 g. 70 (en $\text{SO}^4 \text{H}^2$) par litre en fin de fermentation dans des moûts à 18 kg. par hecto., tandis que l'*A. Rouxii* d'abord employé donnait 1 g. 40 dans des moûts à 12 kg. par hecto.

En travaillant du moût contenant 19 kg. de maïs à 60 p. 100 d'amidon par hecto, on peut donc, en admettant un rendement de 66 l. 25 d'alcool par 100 kg. d'amidon, produire des moûts à 7,5 p. 100 d'alcool, comme ceux que l'on produisait généralement en France avec le travail du maïs par le malt.

Comparaison avec l'ancien procédé. — Le plus grand avantage de ce nouveau procédé est la suppression presque complète du malt.

Dans l'ancien procédé par le malt, on emploie 12 à 15 k. de malt par 100 k. de grains. Le maltage occasionnant une perte en amidon d'environ 1 p. 100 du poids du malt, c'est une perte de 1 k. 2 à 1 k. 5 d'amidon, soit environ un litre d'alcool par 100 k. de grains. Dans le nouveau procédé, cette perte se réduit à 0,1, 0,2 p. 100 d'alcool du poids du grain.

Mais il faut également du malt pour la fabrication des levains lactiques (5 p. 100 environ). Là encore, une certaine quantité d'amidon est perdue par l'acidification et une autre quantité ne subit pas l'empoissage. Cette perte est également évitée, puisque le levain lui-même est devenu inutile.

Dans la saccharification par le malt, il y a 2 à 4 p. 100 d'amidon qui ne sont pas liquéfiables : en comptant sur un minimum de 2,5 pour 100, il y a encore une perte d'au moins un litre par 100 k. de grains.

Dans le nouveau procédé, l'amidon qui a échappé à la liquéfaction est partiellement dissous lors de la stérilisation du moût et à la fin de la fermentation, il est impossible de retrouver de l'amidon, même au microscope, si le travail a été normal. L'attaque de l'amidon est donc absolument complète et si les rendements n'atteignent que 97,5 p. 100 du rendement théorique, cela tient à ce que toutes les actions diastasiques se ralentissent considérablement quand elles sont sur le point de se terminer. C'est là une loi générale de l'action des diastases qu'on est obligé de subir ; il y a toujours 1 à 2 gr. par litre de dextrose et quelques décigrammes de maltose qui échappent à la fermentation, ainsi que des hydrates de carbone non fermentescibles qui se retrouvent dans le liquide fermenté (pentosanes, etc.).

Dans les fermentations industrielles les mieux conduites, il y a toujours perte de matières hydrocarbonées résultant de l'action des microparasites de la fermentation ; la propreté absolue étant impossible à réaliser par les anciennes méthodes, ces pertes sont inévitables : elles sont d'ailleurs la cause de tous les ennuis du distillateur, puisqu'elles ont pour résultat de ralentir ou d'arrêter prématurément l'action diastasique.

Avec l'asepsie absolue qui est nécessaire dans le nouveau procédé, ces infections ne sont plus à redouter ; on y a, à ce sujet, une absolue tranquillité, et, quand le travail est bien réglé,

on est certain d'avance que 100 k. de glucose disparus dans la cuve donneront toujours 61 l. d'alcool.

Utilisation des résidus. — Au point de vue de l'utilisation des drèches, ce procédé présente des avantages que nous étudierons en détail à propos de l'utilisation des résidus de distillerie. Disons seulement ici que l'attaque des gommés par la mucédinée permet de filtrer les drèches dans des filtres-presses après distillation et d'obtenir ainsi des gâteaux renfermant 70 à 72 p. 100 d'eau, qui peuvent être directement desséchés dans un appareil Donard et Boulet par exemple, et fournir des poudrettes contenant 19 à 21 p. 100 d'huile et 6,5 p. 100 d'azote. Quant à la partie du liquide qui s'échappe du filtre-presse, elle est répandue sur les terres, mais on arrivera sans doute facilement à l'évaporer dans un appareil à effets multiples, car ce liquide, dépouillé de substances gommeuses, s'évaporerait probablement sans encrasser les tubes.

Critique de ce nouveau procédé. — D'après le Dr Delbrück (1), l'économie en malt provenant de l'application du procédé est de très grande importance pour toutes les usines qui, jusqu'à présent, ont employé de très grandes quantités de malt, mais il en est autrement dans les distilleries où l'on n'emploie pas plus de 10 % de malt. Ici l'avantage devient moindre quoique encore important. Cependant, comme la matière albuminoïde du maïs est en grande partie insoluble, on ne pourra guère descendre notablement en dessous de 10 % et par conséquent l'économie résultant de la suppression du malt sera toujours notable.

Pour les pommes de terre, dont la teneur en asparagine, très assimilable par la levure, est considérable, l'avantage provenant de l'économie du malt n'est pas, d'après Delbrück, suffisant pour entraîner à l'application du procédé, car on peut très bien n'employer que 1,5 p. 100 d'orge et si on descend en dessous de ce chiffre, la drèche perd beaucoup de sa valeur.

Delbrück pense qu'il est très difficile d'avoir un travail absolument aseptique, à cause de la difficulté de stériliser d'énormes appareils et des volumes considérables de moûts épais contenant de nombreuses spores de schyzomycètes. Il estime que l'ensemencement très faible des cuves est aussi très dangereux. Pendant vingt-quatre heures, le moût est maintenu à 38° C. et doit demeurer stérile jusqu'à ce que la très petite quantité de semence de la mucédinée ajoutée au moût ait poussé ; pendant vingt-quatre

(1) Zeitschrift für spiritusindustrie.

heures le moût doit être à l'abri de toute infection, car c'est seulement pendant cette deuxième période de vingt-quatre heures que se développe la très petite quantité de levure ensemencée. Quiconque sait quelle importance la quantité de semence a sur la pureté des fermentations, concevra à quel développement considérable d'infection on doit s'attendre s'il s'introduit un bacille dans le moût sans défense. Le côté merveilleux du nouveau procédé réside certainement dans cette démonstration que, en fait, en travaillant purement, les grandes quantités de moût peuvent être fermentées quantitativement avec un minimum de semence. Mais là aussi certainement est le point vulnérable, car la plus petite faute entraîne les plus graves conséquences.

Le Dr Delbrück établit la comparaison suivante entre l'ancien et le nouveau procédé :

1° *Ancien procédé.* — Rendement de 60 litres par 100 k. d'amidon.

100 kg. de pommes de terre à 18 % d'amidon, à 60 % de rendement, donnent : alcool à 100° G. L. 10 l. 8

2 kg. d'orge à 50 % d'amidon, à 60 % de rendement, donnent : alcool à 100° G. L. 0 l. 6

Total. 11 l. 4

100 k. de pommes de terre coûtent 3 fr. 75

2 k. d'orge coûtent 0 fr. 375

Total. 4 fr. 125

La matière première coûte, pour 100 litres d'alcool :

$$4 \text{ fr. } 125 \times \frac{100}{11,4} = 36 \text{ fr. } 20.$$

2° *Nouveau procédé.* — Rendement par 100 kgr. d'amidon, 66 litres.

100 kgr. de pommes de terre à 18 p. 100 d'amidon, à 66 litres % de rendement, donnent : alcool absolu 11 l. 88

0 k. 3 d'orge à 50 % d'amidon, à 66 litres % de rendement, donnent : alcool 0 l. 10

Total. 11 l. 98

Frais de matière première par hecto d'alcool :

$$3 \text{ fr. } 80 \times \frac{100}{11,98} = 31 \text{ fr. } 77.$$

Donc un hecto d'alcool, d'après le nouveau procédé, coûte en moins 4 fr. 42.

Mais il y a d'autres facteurs à faire entrer en ligne de compte.

D'abord il y a la valeur de la drêche. Si l'excès de rendement n'est pas dû à la plus grande pureté de la fermentation, mais seulement à son achèvement plus complet, la valeur de la drêche est diminuée de la valeur nutritive totale des hydrates de carbone mieux éliminés par fermentation; mais si ce rendement supérieur est le résultat d'une plus grande pureté dans la fermentation, la valeur de la drêche n'est pas sensiblement atteinte, car on ne peut pas accorder une valeur nutritive à l'acide lactique, l'acide acétique, etc., produits par la fermentation impure, encore qu'ils ne soient pas sans valeur nutritive.

L'économie du malt se fait sentir également sur la valeur de la drêche.

Ensuite, il y a la main d'œuvre. Avec le nouveau procédé, tout le travail du maltage, de la préparation des levains est supprimé. A sa place intervient le travail de laboratoire pour la culture de la mucédinée dans un ballon Pasteur.

Puis il y a la dépense en combustible. D'après Delbrück, la quantité de charbon nécessitée par la stérilisation serait de 20 kilos par hectolitre d'alcool pur, et il y aurait pour tout le travail un excédent de frais de combustible de 0 fr. 50 en travaillant à moûts concentrés et de 1 fr. 50 en travaillant à moûts dilués, le tout comparativement à l'ancien système.

Mais Delbrück compte le charbon à 25 fr. la tonne, ce qui est exagéré pour beaucoup de localités. En outre, les inventeurs du procédé espèrent arriver à sécher leurs résidus avec une économie importante de charbon, économie qui compenserait largement la quantité de combustible supplémentaire qu'ils doivent dépenser pour la stérilisation des moûts.

Reste enfin les dépenses résultant d'une nouvelle installation, de l'intérêt et de l'amortissement du capital qu'elle représente. Delbrück estime ces frais à 1 fr. 50 par hecto pour le cas des moûts concentrés. Ce chiffre augmente notablement si l'on est obligé de recourir aux moûts dilués, car les cuves doivent être plus grandes.

D'après M. Boidin, cette critique de Delbrück, qui a été faite au point de vue du travail dans les distilleries agricoles, n'a point sa raison d'être pour le travail dans les usines industrielles; le fait d'avoir des drêches filtrables a une importance capitale pour les grandes distilleries. Le charbon supplémentaire est largement payé par la plus grande quantité d'huile que l'on peut retirer des tourteaux. M. Boidin va en effet publier incessamment des expériences

qui établissent les conditions dans lesquelles les mucors β et γ fabriquent de grandes quantités d'huile.

Par l'ancien système on obtenait au maximum 3 k. 750 d'huile par 100 kilog. de maïs. — On obtient maintenant 7 k. 750 avec le même maïs, d'où une récolte supplémentaire de 2 k. 500 d'huile par hecto d'alcool. L'huile valant 45 fr. l'hecto, cela fait une plus value de 1 fr. 12 à l'hecto. d'alcool.

Quant aux dépenses d'installation, elles sont beaucoup plus faibles quand il s'agit de grandes usines ; dans ce cas elles ne dépassent pas 0,50 à l'hecto.

Fermentation des moûts de topinambours, de caroubes, de sorgho

469. *Topinambours.* — Le jus de topinambour ayant subi une stérilisation parfaite par l'ébullition que nécessite la saccharification de l'inuline et surtout de la lévuline, il faut mettre à profit cette circonstance favorable pour avoir une fermentation très pure et même travailler par les levures pures sélectionnées. Dans ce dernier cas les levures de vin sont tout indiquées.

La fermentation du topinambour présente cette particularité qu'elle produit beaucoup de levure, en quantité assez importante pour qu'on la recueille. Cette levure, très blanche, qu'on trouve dans le fond des cuves, quand la fermentation est terminée, pourrait, paraît-il, être employée avec succès dans la boulangerie, attendu qu'elle a moins de saveur que la levure de bière.

Sa richesse en azote et en phosphates en ferait également un bon aliment, notamment pour les pores.

Comme cette grande production de levure a lieu évidemment aux dépens du sucre et au détriment du rendement, il faut l'éviter le plus possible. Les moyens à employer pour cela sont :

1° Donner au moût une acidité suffisante pour entraver légèrement la prolifération de la levure sans nuire à sa force fermentative ;

2° Adopter une température suffisamment élevée pour avoir une fermentation très rapide, mais en évitant les pertes par évaporation ;

3° Choisir une race de levure énergique mais pas trop prolifique ;

4° Faire en sorte que les moûts en fermentation soient aérés le moins possible.

470. *Caroubes*. — Nous avons vu que la présence de l'acide butyrique dans les moûts de caroube constitue la principale cause de difficulté de la fermentation de ces moûts, et nous avons dit comment on a tenté d'enlever cet acide. Si le jus des macérateurs passe par une colonne à distiller, il sera partiellement stérilisé. Il sera bon de stériliser complètement le moût servant aux levains.

471. *Sorgho*. — La fermentation des moûts de sorgho ne présente aucune difficulté. Il est évident qu'il ne faut pas abandonner le moût à la fermentation spontanée comme on le fait généralement pour toutes les plantes sucrées dans tous les pays coloniaux. C'est encore ici une levure pure et sélectionnée qu'il faudra employer et comme espèce on donnera la préférence à une levure de vin. On fera des levains de moûts stérilisés aussi volumineux que possible, et même, si cela se peut, on stérilisera tout le moût sortant des macérateurs.

Fermentation des moûts de patate douce

472. La fermentation des moûts de patate provenant de la saccharification par le malt est analogue à celle des moûts de pomme de terre.

A l'île St-Michel (Açores), les moûts accusant environ 12 à 15° Balling sontensemencés avec un levain préparé comme celui qui sert pour les moûts de pomme de terre. Ces moûts s'échauffant moins que ceux, beaucoup plus concentrés, faits en Allemagne, on fait la fermentation dans de grandes cuves de 600 à 800 hectolitres. Au lieu d'emplir la cuve d'un seul coup après l'addition du levain, on opère comme dans les distilleries de betteraves, c'est-à-dire qu'on emplit progressivement la cuve de façon à avoir constamment un milieu fortement peuplé de levure. On a ainsi une fermentation plus rapide et plus pure.

La fermentation complémentaire doit se faire comme pour tous les moûts de saccharification par le malt. Il faut donc éviter une augmentation exagérée de l'acidité ou une grande élévation de température de façon à ménager l'amylase pour lui permettre de saccharifier la dextrine et de la rendre propre à subir la fermentation alcoolique.

Fermentation des moûts saccharifiés par les acides

473. Les moûts saccharifiés par les acides accusent généralement une acidité de 7 à 10 gr. par litre (en SO^4H^2) ; ils doivent donc être partiellement neutralisés avant leur mise en fermentation. Comme leur densité, qui est d'environ 108 à 110, est également trop forte, on commence par neutraliser suffisamment pour faire tomber l'acidité à 2-3 gr. par litre, puis on ajoute de l'eau pour avoir une densité de 104 à 105, une acidité de 1 à 1 gr. 5 et une température de 18 à 26° suivant la température du milieu. Cette neutralisation doit être faite avec de la chaux récemment cuite, comme nous l'avons dit (453).

On peut mettre en fermentation au moyen de levure de bière ou de levure de vin. Cette dernière convient très bien, car elle attaque rapidement le dextrose ; en outre, le moût ayant subi une stérilisation parfaite, ces levures, qui sont généralement pures et sélectionnées, peuvent donner une fermentation rigoureusement pure.

Aération des moûts pendant la fermentation

474. Plusieurs fois déjà (404) nous avons parlé de l'action de l'air sur la fermentation. Avant de terminer ce que nous avons dit de cette importante opération, nous devons encore ajouter quelques mots.

L'aération a été vantée comme un moyen d'augmenter l'atténuation des moûts et le rendement en alcool. Comment peut-on atténuer davantage un moût, en un mot, comment peut-on avoir une plus grande diminution de la densité d'un moût ? On peut y arriver : 1° En détruisant plus de sucre ; 2° En produisant plus d'alcool par la fermentation de la même quantité de sucre.

Peut-on par un moyen quelconque diminuer la production d'alcool en fermentant la même quantité de sucre ? Évidemment, en augmentant la production de l'acide carbonique ou de la levure.

Laissons de côté l'acide carbonique et admettons qu'il se forme toujours suivant l'équation de Gay-Lussac ; nous pouvons l'admettre puisqu'il est maintenant démontré que la zymase alcoolique (385)

dédoube le sucre en alcool et acide carbonique suivant cette équation. Il est certain que par l'aération on peut augmenter considérablement la production de levure aux dépens de la production de l'alcool, témoin la fabrication de la levure de moût clair (*aéro-levure pressée*), que nous décrirons plus tard. Mais ce qui nous intéresse, c'est le rendement en alcool, et ce rendement dépend de deux facteurs, du rapport du sucre détruit au sucre préexistant $K = \frac{s}{S}$, et du rapport de l'alcool formé au sucre détruit $R = \frac{a}{s}$, c'est-à-dire qu'on a pour le rendement $r = K \times R$, K étant un chiffre plus petit que l'unité et qui deviendrait égal à 1 si la destruction du sucre était absolument complète (1).

Plus l'aération est parfaite, plus il y a production de levure et plus sont importants les phénomènes de combustion, par conséquent, plus R est faible, et le seul moyen d'augmenter le rendement en alcool par l'aération est d'augmenter K , c'est-à-dire d'avoir une fermentation plus complète.

La pratique des fermentations démontre qu'une *absence prolongée* d'oxygène peut donner lieu à une fermentation incomplète, par suite d'un manque de vitalité de la levure, mais que d'un autre côté une abondante aération diminue plutôt le rendement en alcool. Ce fait s'explique très bien depuis la découverte de Buchner. Une légère aération produit une petite quantité de levure secrétant beaucoup de zymase très énergique, tandis qu'une forte aération affaiblit la zymase par une oxydation partielle.

Si on fait une aération artificielle, il faudra généralement la limiter aux levains; pour le moût principal, l'aération qu'il a subie en cours de préparation sera généralement suffisante et on pourra se contenter de l'aération par surface, en laissant l'air circuler librement à la partie supérieure du moût. Il est inutile d'encombrer les cuves de tuyaux d'aération qui gênent aux nettoyages et sont eux-mêmes d'un nettoyage difficile.

L'aération par insufflation d'air a été préconisée en Allemagne par Bennewitz, et, d'après Maercker, le seul résultat auquel on soit arrivé a été d'augmenter légèrement la capacité utile des cuves; tous les autres avantages qu'on avait d'abord annoncés: augmentation de rendement en alcool, fermentation plus rapide, etc., n'ont pas été confirmés jusqu'ici. En France on a constaté la même chose pour les moûts de betteraves et de mélasses.

(1) Lire notre article « Aération des moûts en distillerie ». *Distillerie Française*, Septemb. 1896.

LIVRE V

Fabrication de la levure pressée

PRÉLIMINAIRES

475. La fabrication de la *levure pressée* a pour but la production d'une levure appropriée à la *panification*, c'est-à-dire à l'usage de la boulangerie et de la pâtisserie.

Cette levure doit remplir certaines conditions spéciales que nous allons énumérer :

- 1° Elle doit être blanche, ne présenter aucune saveur amère, et avoir une tendance à se dessécher et non à se ramollir ;
- 2° Elle doit pouvoir supporter facilement le transport ;
- 3° Elle doit, dans la fermentation, pouvoir produire un dégagement d'acide carbonique qui dure plusieurs heures.

Une levure encore fréquemment employée à la panification est la levure de bière. On sait que celle-ci se distingue en deux espèces différentes : la levure haute et la levure basse. Cette dernière n'étant nullement appropriée à la panification, la préparation de la levure pressée, tout comme celle de la levure artificielle (levain lactique, 436), a pris naissance dans les pays producteurs de bières à fermentation basse, c'est-à-dire d'abord en Autriche, puis en Allemagne, à l'époque où l'on a abandonné dans ces pays la fabrication des bières hautes. Parallèlement elle s'est développée en Hollande, comme sous-produit de la fabrication du genièvre.

La levure de bière haute ne remplit pas toutes les conditions que doit présenter une bonne levure de panification.

1^o Elle n'est généralement pas blanche, mais présente une teinte jaunâtre due aux matières colorantes du moût dans lequel elle a pris naissance ; en outre elle possède une saveur amère provenant des principes amers de houblons qu'elle retient. On peut, il est vrai, la rendre blanche et exempte d'amertume, mais ce n'est qu'en employant des produits chimiques qui exigent une manipulation soignée ;

2^o Elle ne se conserve que grâce aux résines amères qui l'accompagnent ; si on enlève celles-ci, elle s'altère plus rapidement que la levure de distillerie.

La levure de brasserie, surtout celle qui provient de la fermentation en tonneau, système d'un emploi presque général, a toujours subi une autodigestion ou autophagie plus ou moins prononcée, qui a beaucoup diminué l'épaisseur de son enveloppe. Pour cette raison, elle ne peut se conserver que très peu de temps.

3^o Précisément à cause de la faible épaisseur de son enveloppe, elle donne rapidement un dégagement d'acide carbonique : elle en produit 50 p. 100 de plus que la levure de distillerie dans la première heure, mais n'en donne plus les heures suivantes, tandis que l'autre levure, avec sa peau épaisse, donne une fermentation lente au début, mais qui se continue très longtemps.

Divers procédés de fabrication de la levure pressée

476. On peut distinguer les procédés de fabrication de la levure pressée en deux grandes classes, suivant qu'on opère à moût clair ou à moût trouble (326, 328, 331).

Le procédé à moût clair a été longtemps employé en Hollande, pays où l'on produisait autrefois une levure jouissant d'une grande réputation. Voici une description rapide de ce procédé.

La masse saccharifiée étant refroidie à 25° C. par addition d'eau froide, on ajoute un demi-millième de levure, on mélange avec soin et on laisse reposer pour que les matières les plus

denses puissent se déposer (328). Deux heures et demie après, on décante la partie liquide qui recouvre le dépôt et forme environ 60 p. 100 de la masse, et le produit liquide de la décantation est dirigé vers le bac à levure. Ce bac est plat et la matière y est livrée à la fermentation jusqu'à ce que le chapeau soit devenu assez dense et assez consistant pour être enlevé. Ce chapeau est constitué par de la levure, qu'on tamise après un lavage à froid et qu'on presse.

Les matières solides restées dans la cuve sont entrées en fermentation de leur côté; au bout de 36 à 48 heures, lorsqu'on a extrait la levure du bac à levure, le liquide de ce bac est réuni à ces matières. On brasse avec soin et la fermentation reprend une nouvelle activité pendant 12 à 15 heures, après quoi le tout est livré à la distillation.

Le rendement s'élevait à 26 litres d'alcool (ou 52 litres de genièvre à 50 degrés) et on obtenait 6 kil. de levure pressée par 100 kil. de farine. Le rendement en levure était donc très faible.

A côté de la levure hollandaise, une autre levure pressée jouissait d'une grande réputation: c'était la *levure Viennoise*, préparée en moût trouble.

CHAPITRE XXVI

Fabrication de la levure viennoise

477. La méthode viennoise est caractérisée par l'emploi des levains lactiques et de la vinasse. Elle a été introduite en France en 1870, par M. le baron Springer, qui, depuis longtemps, expédiait en France de grandes quantités de levure pressée fabriquée dans son usine de Rheinsdorff, en Autriche.

Longtemps cette méthode resta complètement empirique; les contremaitres possédaient une foule de secrets et de recettes qu'ils cachaient avec le plus grand soin.

Depuis quelques années ce procédé a bien mis à profit les progrès de la science, mais il y reste encore un côté fortement empirique, ce qui résulte de la façon dont on récolte la levure.

La méthode viennoise consiste à préparer un moût trouble d'une densité assez faible pour que le liquide n'arrive pas trop rapidement à une teneur de 5 % en alcool, et présentant un certain degré de *viscosité*. Cette viscosité est nécessaire pour que l'acide carbonique puisse entraîner la levure à la surface.

Le moût est mis en fermentation avec un levain lactique préparé spécialement en vue de la production de la levure. C'est dans l'obtention de ce degré de viscosité du moût principal et dans la préparation d'un levain convenable que réside tout le secret de la fabrication de la *levure viennoise* ; c'était cela qui faisait l'objet de toutes les recettes dont nous disions un mot ci-dessus.

Le degré de viscosité nécessaire doit être obtenu par le choix convenable des matières premières entrant dans la confection du moût principal. On croit encore que la saccharification ne peut être poussée trop loin sous peine d'avoir un moût trop fluide par suite du manque de dextrose. C'est une grave erreur ; la saccharification doit être aussi complète que cela peut se faire. Il est possible que dans certains cas on ait constaté qu'en prolongeant la saccharification on avait un abaissement du rendement, mais ce n'était pas le manque de dextrose qui en était la cause, mais bien plutôt une infection par les microparasites du malt. Dans ce cas c'était dans une plus grande propreté des matières premières qu'il fallait chercher le remède.

Matières premières.

478. *Malt*. — La diastase employée à la saccharification est fournie par le malt. Le malt le plus employé est le malt d'orge. Anciennement on n'employait que le malt sec ou touraillé ; depuis un certain nombre d'années on emploie également le malt vert, comme en distillerie. On a longtemps cru que le malt vert ne pouvait donner des moûts suffisamment concentrés pour la préparation des levains, mais l'expérience a prouvé qu'on peut avoir d'aussi bons résultats avec le malt vert, et les grandes usines hongroises s'en servent beaucoup. On dit aussi que la levure étant plus infectée se conserve plus difficilement ; c'est inexact. En travaillant bien on obtient une levure qui se con-

serve aussi bien que celle de malt sec, et cela s'explique facilement. En effet, si le malt vert est, surtout en été, souillé par une multitude de microbes, ceux-ci sont à l'état végétatif et, par conséquent ils sont très sensibles à la température de 65° C. atteinte dans les levains, tandis que dans le malt sec, les micro-parasites sont généralement *sporulés*, c'est-à-dire sous une forme les rendant insensibles à la température de 65° C., en sorte que, si la numération des microbes avait de la valeur, on trouverait qu'un levain de malt sec en contient davantage qu'un levain de malt vert. Malheureusement cette numération est impossible, parce qu'elle ne distingue pas les microparasites vigoureux de ceux qui sont paralysés ou même complètement tués.

Ce qui intéresse le fabricant, c'est la pureté de ses moûts à la fin des opérations, et non celle de la matière première.

Que l'on emploie le malt sec ou le malt vert, la germination doit être poussée très loin, de façon à porter au maximum la désagrégation de l'amande du grain et la solubilisation des matières azotées. Il faut donc un maltage prolongé (10 à 14 jours) à basse température, avec travail intérieur aussi grand que possible, mais sans végétation exubérante (n° 244, page 263.)

Quant au touraillage, si on emploie du malt sec, il doit naturellement être fait très modérément, de façon à ne pas altérer les matières azotées. Quand un malt sec renferme beaucoup de grains durs, c'est une preuve qu'il a été mal germé ou qu'il a été trop fortement chauffé au début du touraillage (grains vitreux). Le malt sec ne doit pas avoir une nuance brune, signe d'une température trop élevée au touraillage, qui transforme les matières azotées en des modifications insolubles.

Il n'est pas nécessaire que les grains soient gros et pleins, comme en brasserie, puisqu'il ne s'agit pas d'avoir un fort rendement en extrait; mais ils doivent être réguliers, car plus les grains sont réguliers, plus est régulière la germination et par suite la dissolution du malt.

Un malt à grains de grosseur moyenne est préférable; les gros grains sont trop pauvres en matières azotées; quant aux petits grains, ils présentent l'inconvénient que l'enlèvement des balles produit une trop grande perte.

On a remarqué que le malt sec mis en œuvre doit être touraillé depuis au moins quinze jours; celui qui vient directement de la touraille donne une mauvaise saccharification et subit mal l'acidification lactique. Il doit être moulu depuis plusieurs jours.

479. *Seigle*. — Comme *grain cru*, le plus employé est le seigle. On a reconnu que le meilleur seigle est le plus riche en azote.

Le seigle ne doit pas être germé ; il doit être débarrassé de terre et de poussières, et être exempt de nielles, de vesces et surtout de grains ergotés, de chenevis et d'ail. Quand il y a beaucoup de nielles et de grains ergotés, on a de la levure noire ; quant au chenevis et à l'ail, ils empâtent les meules et occasionnent facilement l'échauffement de la mouture, ce qui est très nuisible.

Les grains de seigle doivent être réguliers, d'une nuance pâle et avoir une enveloppe mince. Plus l'épaisseur des enveloppes est faible, moins on a de son et plus on a de farine ; ce qui est d'autant plus important qu'on choisit de préférence les petits grains.

Le seigle qui présente les plus petits grains et est en même temps le plus riche en matières azotées, est le seigle de Russie, spécialement celui du Sud de la Russie ; c'est aussi celui qu'on se procure le plus facilement. Le seigle de la Champagne est également bon, mais celui de la Bretagne est très mauvais.

480. *Sarrasin*. — La matière première la plus convenable pour donner au moût le degré de viscosité nécessaire est le sarrasin. (325). Cette matière se rencontre rarement dans un état de propreté suffisant ; avant de l'employer, il faut lui faire subir un nettoyage. Les grains doivent être bien mûrs, c'est-à-dire, qu'ils doivent présenter une nuance noire ou grisâtre. Il arrive souvent qu'on y trouve beaucoup de grains non mûrs ; ceux-ci, au lieu d'une enveloppe dure, portent une écorce molle, verdâtre ou tirant sur le brun. Ces grains n'ayant pas atteint le degré voulu de maturité et par conséquent les matières hydrocarbonées et azotées n'étant pas complètement formées, elles ne peuvent se dissoudre complètement lors de la macération.

Le meilleur sarrasin est le sarrasin argenté (fig. 169, p. 382).

On emploie le sarrasin dans la proportion de 3 à 4 % : on n'en met jamais plus de 5 pour 100, car alors le dégagement de l'acide carbonique se fait par soubresauts si violents, que la levure venant à la surface se précipite au fond ; *la cuve se retourne d'un seul coup*, disent les praticiens, et toute la surface est noyée. Comme la levure ne revient pas, il faut au moût une viscosité telle qu'on ait au moins le temps de la ramasser.

481. *Maïs*. — Le maïs est fréquemment utilisé à la fabrication de la levure pressée. Il augmente généralement le rendement en alcool, mais, employé en forte proportion, il diminue le rendement en levure. Le maïs donne une mousse plus belle, plus pure, contenant moins de sons que par l'emploi du seigle seul, parce que les enveloppes du grain de maïs descendent au fond des cuves au lieu d'être entraînées à la surface en même temps que la levure. D'après Otto Durst (1), les maïs à petits grains donnent les plus forts rendement en levure. Le meilleur maïs est celui du Danube, mais il coûte souvent trop cher; la qualité la plus employée et qui donne une très belle levure, tout en donnant moins d'alcool que celui du Danube, est la variété *dent de cheval*, récoltée dans l'Amérique du Nord. Quant au maïs de La Plata, il donne toujours de mauvais résultats dans la fabrication de la levure, et un pour cent d'alcool en moins que les autres maïs.

482. *Lupin*. — Le lupin (fig. 251) également peut être employé pour la fabrication de la levure et non pour celle de l'alcool. Ritthausen a donné à la caséine du lupin le nom de *conglutine*, pour la distinguer de la *légumine*. Le lupin renferme aussi une matière amère sous forme d'une base cristallisable.

D'après les recherches de Hayduck, les 80 pour 100 des matières azotées se trouveraient sous une forme assimilable, ce qui expliquerait sa valeur pour la fabrication de la levure.



Fig. 251. — Lupin blanc (Vilmorin).

D'après Kœnig, le lupin présenterait la composition suivante :

Eau	12 88
Matières azotées	36 52
Matières grasses	4 92
Matières non azotées	27 60
Cellulose	14 04
Cendres	4 04

Les lupins ne favorisent pas la montée de la levure, ce qui paraît dû aux matières amères qu'ils renferment.

(1) Handbuch der Presshef.fabrikation, par Otto Durst (1896).

Nettoyage des matières premières.

483. Les céréales employées à la fabrication de la levure pressée n'étant généralement pas soumises à une température élevée, il est indispensable de les nettoyer à fond avant de les saccharifier. Nous avons déjà parlé de ces nettoyages à propos du malt (236, page 256.) Tous les grains doivent être débarrassés des poussières, des saletés et des pierres qui les accompagnent.

L'orge à malter doit être d'abord passée au nettoyeur, puis au trieur-assortisseur (diviseur-cribleur) qui sépare les grains suivant leur grosseur, puis au trieur à alvéoles qui enlève les grains brisés par le battage, les nielles, vesces, pavots et autres impuretés.

La fig. 252 représente un diagramme complet de nettoyage avec lavage et séchage, tel qu'il est pratiqué dans les minoteries perfectionnées.

Le grain monte dans les silos figurés à gauche, descend dans une nochère à hélice, qui l'amène dans une bascule automatique (allemand Waage); il passe successivement dans un tarare aspirateur, dans un appareil à aimant, dans un trieur à alvéoles, dans un épierreur à eau, dans un laveur-sécheur centrifuge, dans un appareil de séchage complémentaire à air et enfin dans un appareil à broser. Pour les fabriques de levure on est évidemment obligé de simplifier ce diagramme; le laveur-sécheur centrifuge et le sécheur à air chaud sont généralement supprimés. Du reste ceci varie d'une usine à l'autre suivant les matières premières mises en œuvre.

Le trieur à alvéoles (fig. 253) se compose d'un ou de plusieurs cylindres en métal alvéolé. On appelle ainsi une plaque de métal dans laquelle on a embouti ou fraisé des creux ayant une forme hémisphérique, creux dans lesquels peuvent trouver à se loger les corps à éliminer.

Le grain à nettoyer est envoyé dans ce cylindre. *L'orge, qui est de forme oblongue, ne peut entrer dans les trous hémisphériques, tandis que les graines rondes, les petites pierres de forme régulière, les grains coupés en deux par la batteuse peuvent s'y loger.* Dans son mouvement de rotation, le cylindre entraîne, logées dans les creux, les impuretés qui retombent à un moment donné dans une nochère munie d'une vis d'Archimède, qui les élimine définitivement.

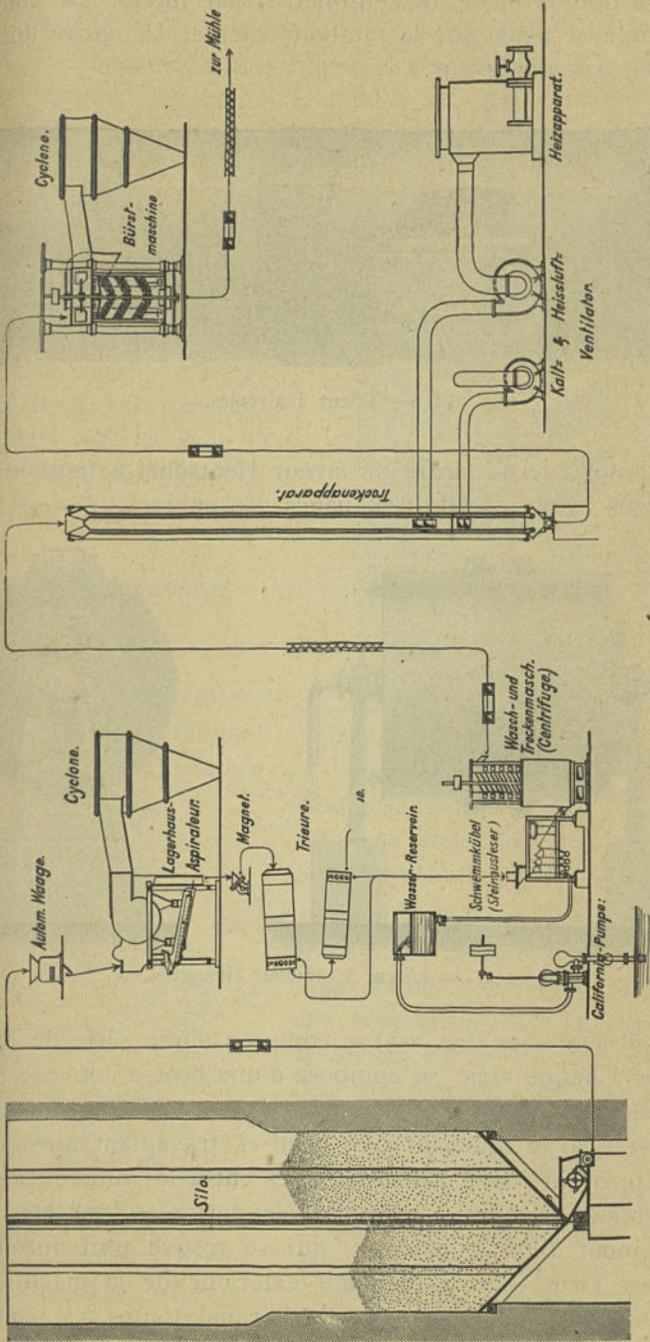


Fig. 252. — Diagramme de nettoyage avec lavage et séchage. (Ancienne Maison SECK Frères, de Dresde.)

La pente doit être de 10 centimètres par mètre. La courroie de commande se place sur le tambour même. Un autre appareil indispensable est un laveur.

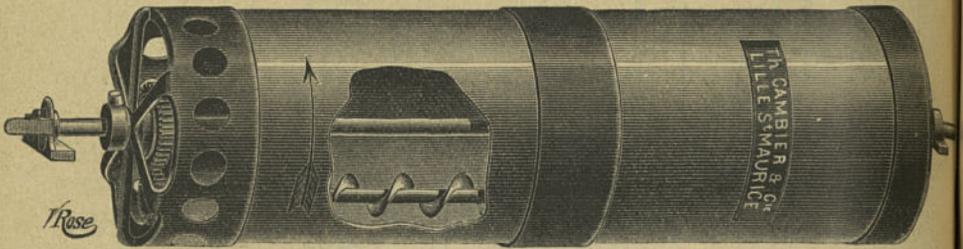


Fig. 253. — Trieur à alvéoles.

Nous donnons ici la figure du laveur Hentschel à tambour (fig. 254) que nous avons décrit (236, pages 256 et 257).

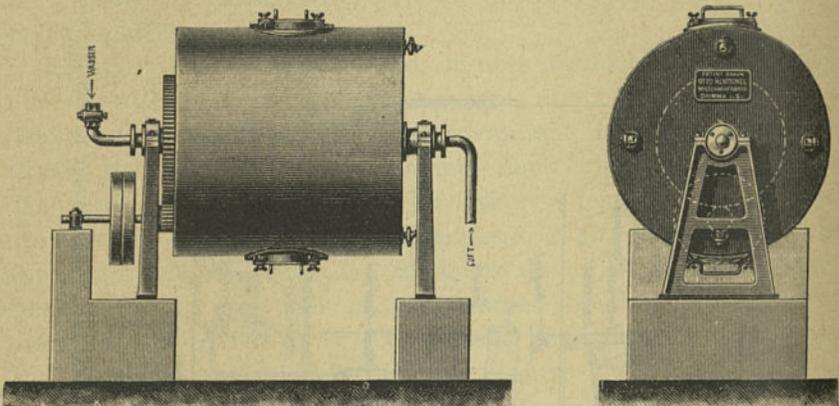


Fig. 254. — Laveur à tambour Hentschel.

L'appareil à brosse (fig. 255) se compose d'une série de brosses superposées. Chaque série se compose d'une brosse convexe immobile et d'une brosse concave placée au-dessous de la première sur un arbre vertical et tournant avec celui-ci, travaillant ainsi contre la brosse supérieure fixe. Les intervalles entre les différents étages sont enveloppés par des cercles en tôle perforée dont les perforations donnent dans le canal C, qui se trouve tout autour des étages et est formé par le manteau extérieur de la machine. Un aspirateur enlève immédiatement de ce canal toutes les particules de sons et d'impuretés détachées des grains et les conduit dans la chambre ou le collecteur à poussière. On ajuste la machine en

marche en élevant directement l'axe auquel sont attachées les brosses tournantes, par une vis et un petit volant à main.

Un appareil en même temps très simple et très efficace pour le lavage des grains est une cuve mouilloire dans le genre de celle de Bothner (p. 253) avec insufflation d'air et trop plein latéral. On ne saurait trop recommander d'éviter l'installation d'appareils compliqués et de tirer le meilleur parti des appareils qu'on a à sa disposition.

Division des matières premières.

Les matières premières employées dans la fabrication de la levure pressée

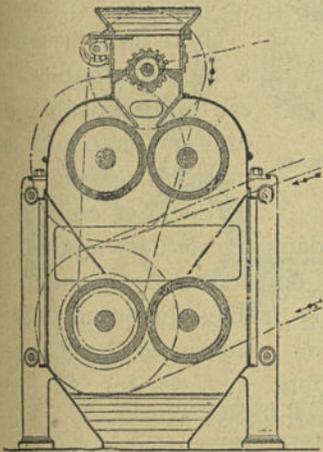


Fig. 256. — Concasseur à cylindres

différentielle. Pour le travail à moût clair, la maison Cambier, de

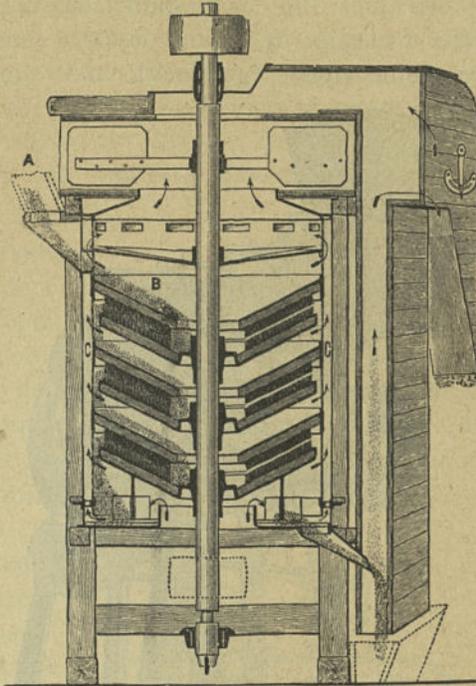


Fig. 255. — Appareil à broser (SECK).

sont simplement écrasées ou broyées, moulues sous des meules ou cuites sous pression.

484. *Broyeurs ou écraseurs.* — Quand il s'agit de diviser le malt vert ou sec sans abimer l'enveloppe, comme cela est nécessaire pour la fabrication de la levure de moût clair, on emploie des concasseurs à cylindres. Pour le malt vert on utilise les broyeurs ou écraseurs à 2 cylindres déjà décrits (p. 275 à 280); pour le malt sec, nous conseillons un concasseur à 4 cylindres. La figure 256 montre un tel concasseur avec rouleaux égaux à fines cannelures hélicoïdales et à vitesse différentielle. Pour le travail à moût clair, la maison Cambier, de

Lille, construit d'excellents concasseurs à 4 cylindres et à vitesses symétriques (fig. 257). Dans ceux-ci le grain passe d'abord entre deux rouleaux de même vitesse, puis entre deux autres rouleaux de même vitesse également, mais tournant plus vite que les deux

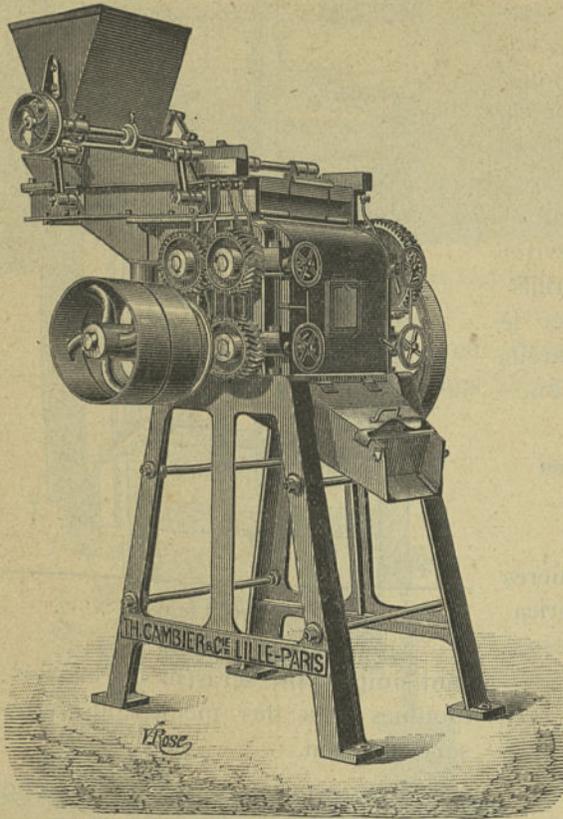


Fig. 257. — Concasseur à quatre cylindres et à vitesses symétriques de la Maison Cambier, de Lille.

premiers, dans le but d'éviter tout engorgement dans la deuxième paire de cylindres. Avec cet appareil on peut concasser aussi finement qu'on le veut sans crainte d'abîmer la paille au point de compromettre la filtration pratiquée dans le travail à moût clair.

En outre on peut broyer convenablement un mélange de grains de grosseur différente, ce qui n'est pas possible avec un concasseur à 2 cylindres, qui laisse entiers les plus petits grains.

Pour la fabrication à moutts troubles, il est indispensable de diviser finement les matières premières et de déchirer complètement

les enveloppes, qui gonfleraient dans le moût et viendraient former à sa surface une croûte épaisse empêchant la montée de la levure. Dans ce cas on a recours aux meules quand il s'agit de malt sec et aux *appareils à lait de malt* quand il s'agit de malt vert (254, 255, 256). On prendra donc un écraseur de malt vert avec un broyeur Bohm, ou un moulin Gruson, ou encore des meules pour mouture humide. Ces dernières sont bonnes, mais nécessitent de grands soins de propreté.

Comme nous l'avons dit (290), on avait d'abord employé le broyeur Bohm en distillerie dans le but de suppléer à une insuffisance de

la cuisson, puis on a reconnu que l'appareil ne pouvait pas remplir ce rôle et on l'a presque abandonné.

Depuis quelques années on a reconnu que cet appareil peut rendre de grands services. C'est un excellent broyeur.

Un appareil broyeur qui donne de fort bons résultats est le moulin Gruson (223 p. 235). Avec des disques de 600 millimètres on produit 120 à 200 kilogr. de mouture par heure avec une dépense de 3 à 4 chevaux.

485. *Mouture.* — Pour la mouture on se sert de meules ou de moulins à cylindres. Ces derniers présentent l'avantage de ne pas exiger de rhabillage, et pour cette raison ils semblent devoir tôt ou tard se substituer complètement aux meules, malgré le prix de revient [plus élevé de l'installation. Avec ces appareils l'échauffement est peu à craindre, ce qui est un grand avantage. Ils nécessitent cependant chaque année un recannelage des rouleaux.

La fig. 258 montre la coupe d'un moulin à une paire de cylindres, avec vis sans fin et aspiration sur le côté de l'appareil. Cette aspiration enlève l'air chaud qui se produit durant le travail et qui, par la condensation de la vapeur d'eau dont il est saturé, humecterait les conduits éléva-

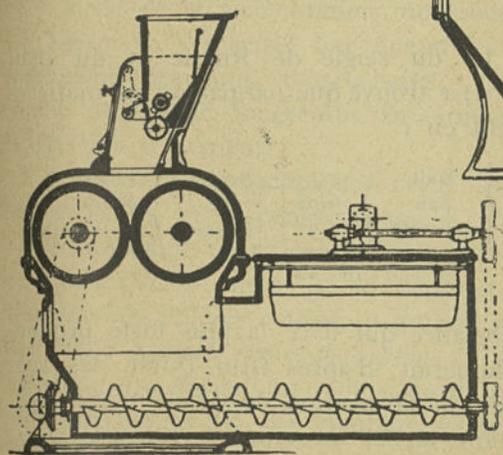


Fig. 258. — Moulin à une paire de cylindres avec vis sans fin et aspiration sur le côté de l'appareil.

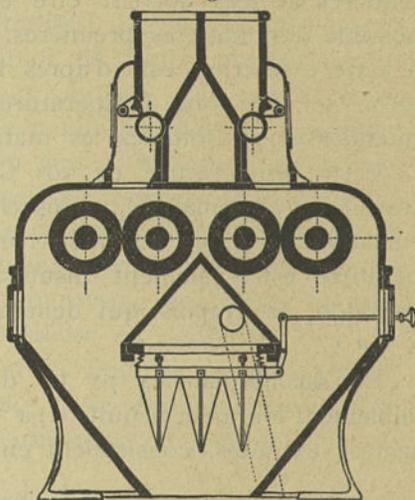


Fig. 259. — Moulin à deux paires de cylindres avec aspiration à l'intérieur de l'appareil et batteur à main.

teurs. Cette aspiration est munie d'un filtre qu'on nettoie par un batteur automatique figuré à la partie supérieure du dessin.

La fig. 259 montre un moulin à deux paires de cylindres avec

aspiration en dessous. Le filtre figuré en coupe transversale est nettoyé par un batteur figuré à la partie inférieure et à droite.

486. *Cuisson.* — Pour la cuisson on emploie un macérateur du genre Lacambre quand on ne dépasse guère 100°, et un cuiseur conique ou tronconique quand on cuit sous plusieurs kilogrammes de pression.

Importance des matières azotées.

487. Dans la fabrication de l'alcool par les matières amylacées, celles-ci sont généralement cuites sous pression. Dans la fabrication de la levure, on est obligé de travailler sans cuisson, c'est-à-dire à l'état de *grains crus*, les substances qui, comme le seigle, renferment des matières azotées facilement altérables. Ces matières azotées doivent être extraites aussi complètement que possible des matières premières. La température la plus favorable à cette extraction est, d'après les essais de Heinzelmann, d'environ 50° C. ; une température plus élevée transforme en des modifications insolubles les matières déjà dissoutes.

Cette température de 50° C. est toujours atteinte dans le travail en cuve-matière ; mais elle est insuffisante pour la saccharification qui exige au moins 62-63° C. Enfin cette dernière température est également insuffisante pour la transformation de l'amidon en empois qui demande des températures supérieures à 70° C.

En saccharifiant à 70° C. du seigle de Russie et du malt faiblement touraillé, Schulte (1) a trouvé que 100 parties de matières azotées extraites, consistaient en :

Albumine coagulable	Malt	{ 13.13	Seigle	{ 17.25
Peptones	peu	{ 16.92	de	{ 48.66
Amides	touraillé	{ 69.95	Russie	{ 34.09
		100.00		100.00

Le malt est donc la substance qui livre la plus forte proportion d'amides, ce qui expliquerait, d'après Otto Durst, les rendements élevés obtenus dans la fabrication de *l'aéroleuvre pressée*, où, pour avoir une filtration facile, on emploie jusqu'à 70 % de malt.

Cependant dans des essais où il employait des doses variables

(1) Brenner Zeitung, Août 1889.

d'amide (sous forme d'asparagine) et de peptone, Kusserow (1) a constaté que la fermentation était d'autant plus rapide que le rapport amide : peptone, était plus élevé. Le rendement en levure montait dans la proportion inverse, en sorte que l'amide favorise l'activité de la levure et que la peptone favorise l'augmentation de rendement.

Ce n'est donc pas la forte proportion d'amides qui produit les hauts rendements constatés dans la fabrication de *l'aérolevure pressée*, mais bien l'aération. L'asparagine est un bon aliment pour la levure, mais cela est surtout vrai en distillerie, où il s'agit de fermenter rapidement ; pour la fabrication de la levure, la peptone paraît préférable. *Les rendements en levure s'élèvent lorsqu'on utilise des matières albuminoïdes dialysables et aussi voisines que possible du terme albumine.*

Dans les expériences de Kusserow, les fermentations ne montraient pas d'écumes quand on n'utilisait que de l'amide pour la nutrition ; au contraire, par l'emploi de fortes proportions de peptone, il se formait beaucoup de mousse qui faisait même déborder les flacons renfermant les moûts clairs en fermentation. Cette mousse pouvait d'ailleurs être due à l'albumose qu'on rencontre souvent dans la peptone commerciale fraîchement préparée (2).

Ces albumines sont les premiers produits de la dislocation de la molécule d'albumine ; ils constituent, suivant les plus grandes probabilités, la cause principale du moussage des bières et sans doute aussi de la fermentation mousseuse en distillerie.

Kusserow a remarqué que quand les liquides en fermentation contenaient beaucoup d'asparagine, il se formait une levure blanche qui restait longtemps en suspension et qui se déposait ensuite très lentement.

A l'examen microscopique, cette *levure d'amide* montra des cellules isolées en suspension dans le moût clair.

Avec un moût fortement additionné de peptone, la levure avait une nuance plus jaune et se déposait mieux. Au microscope, on voyait des cellules collées en grande partie les unes aux autres. On a donc avec la *levure de peptone* la production de flocons qui occasionne une formation rapide du dépôt.

D'après Kusserow, ces résultats s'adaptent bien à ceux de la pratique.

(1) Bonner Brennerei Zeitung.

(2) Les peptones donnent par elles-mêmes des solutions extrêmement mousseuses.

Le distillateur par moûts épais, qui désire une fermentation rapide sans mousses, pousse la peptonisation aussi loin que possible ; il cherche par un long empâtage et par une forte acidification, à produire beaucoup d'amide (1). Il arrive ainsi à une fermentation rapide et partant complète qui exige peu d'espace vide au dessus des cuves. La haute température de cuisson, à laquelle les matières protéiques productrices d'une mousse inutile, sont en partie coagulées et par suite rendues inoffensives, concourt également à la peptonisation et à la transformation en amide des matières albuminoïdes restées dissoutes.

Au contraire, le fabricant par l'ancien procédé (*levure viennoise*), n'emploie que de basses températures pour la macération et de faibles doses d'acide pour la peptonisation, afin de conserver dans le moût des matières albuminoïdes d'un degré de simplification moins avancé, qui sont nécessaires à la production de la mousse. Il veut que ses cuves ne poussent pas trop vite ; car, quand la cuve entre trop rapidement en fermentation, sa récolte en levure est plus faible.

Dans la fabrication de l'*aérolevure pressée*, on a depuis longtemps remarqué que, par une forte acidification, c'est-à-dire par une dislocation avancée des matières albuminoïdes, la formation de flocons de levure cessait de se produire, mais qu'alors au lieu d'une bonne formation du dépôt, il arrivait souvent que le dépôt se faisait mal.

Il faut donc éviter avec soin que la première forme de levure, la levure de peptone, ne se change complètement en levure d'amide.

Une autre observation intéressante pour la pratique, c'est que les deux types *levure de peptone* et *levure d'amide* se distinguent l'une de l'autre par une grande différence dans la *force fermentative* (*Triebkraft*). La levure de peptone essayée dans l'appareil de Hayduck, donne dès la première demi-heure une notable quantité d'acide carbonique, mais n'accuse qu'une faible activité fermentative dans la troisième demi-heure, c'est-à-dire que sa *force fermentative*, comme la définit Hayduck, est faible. Au contraire la

(1) Contrairement aux assertions de Kusserow, on a remarqué, dans certaines distilleries, que des moûts très amidés donnaient des mousses en quantité considérable, lorsqu'ils avaient été filtrés au préalable ; la fermentation, dans ces conditions, était impossible, les cuves débordant constamment : 50 centim. de liquide donnaient 4 m. de mousse. Mais on arrivait à faire tomber la mousse en rajoutant au liquide filtré les pailles séparées par filtre pressé.

levure d'amide entre très lentement en activité, mais accuse une activité fermentative beaucoup plus grande.

D'après ce qui précède, la meilleure levure que l'on doit chercher à produire dans les fabriques de levure pressée n'est ni la levure d'amide ni la *levure de peptone*, mais un type entre ces deux extrêmes.

Suivant Kusserow, la levure de bière, produite dans un moût non acide et faiblement peptonisé, aura surtout le caractère de la *levure de peptone* (1), ce que semble confirmer sa tendance continue à la formation des flocons, son entrée rapide en activité et sa faible *force fermentative*, suivant la définition de Hayduck.

Nous avons dit plus haut que la levure de bière a généralement une enveloppe de faible épaisseur, et c'est à cela que nous avons attribué la rapidité du départ de la fermentation. D'après Kusserow, cette différence entre les deux levures tiendrait à un mode de nutrition différent; il est certain en tout cas que la faible épaisseur de l'enveloppe des cellules de levure de bière explique bien le départ très rapide de la fermentation.

D'après les essais de Heinzelman, la cuisson du seigle sous une pression de 3 kilos (135°) avec addition de 1 p. 1000 d'acide sulfurique, augmente la proportion de matières protéiques dissoutes. Voici d'ailleurs les chiffres qu'il a obtenus avec un seigle à 11,5 % de matières protéiques, chauffé pendant 5 heures avec de l'eau.

15	50	60	65	70	115	125	135	135° avec ac. sulfur.
3,9	4,5	4,2	3,5	3,5	3,7	5,1	6,6	7,0
Maximun à basse pression					haute pression			

La cuisson à haute pression pourrait donc être également employée dans la fabrication de la levure, d'autant plus que cette cuisson augmente notablement le rendement en alcool; mais jusqu'ici ce procédé ne s'est pas répandu.

D'après Otto Durst, quand le maïs est divisé assez finement, la cuisson sous pression n'augmente pas le rendement en levure; une cuisson à 1 kilo 1/2 donne bien une légère augmentation de rendement en alcool, mais la levure prend facilement une teinte plus sombre, et à une pression de 2 1/2 à 3 kilos on obtient beau-

(1) Cependant dans du moût de bière, d'après les expériences de Wahl et Hauke, la levure assimile surtout les amides, et prend seulement une petite quantité de peptones et de matières albuminoïdes (*Traité de Microbiologie* par Duclaux, 1900).

coup de levure noire. La cuisson à 2 kilos 5 donne une levure légèrement jaune paille, mais excellente. *Si on soumet toutes les matières premières à la cuisson sous pression, le mout perd toute viscosité, la levure ne monte pas et la récolte est nulle.*

On ne cuit généralement que le maïs dont l'amande cornée est d'une attaque difficile. Les autres matières premières doivent donc être soumises à l'empâtage avant de subir la saccharification.

Empâtage et saccharification.

488. Pour les levains l'empâtage se fait encore quelquefois à la main. Pour le mout principal, on emploie toujours un *macérateur* ou *cuve-matière* (287). La fig. 260 représente une cuve-matière en bois avec agitateur ou *vagueur planétaire*, qui date déjà d'une soixantaine d'années. On a depuis longtemps remplacé la cuve en bois par une cuve en tôle ou en fonte, mais le vagueur se rencontre encore presque tel quel aujourd'hui dans de grandes usines travaillant par le malt sec.

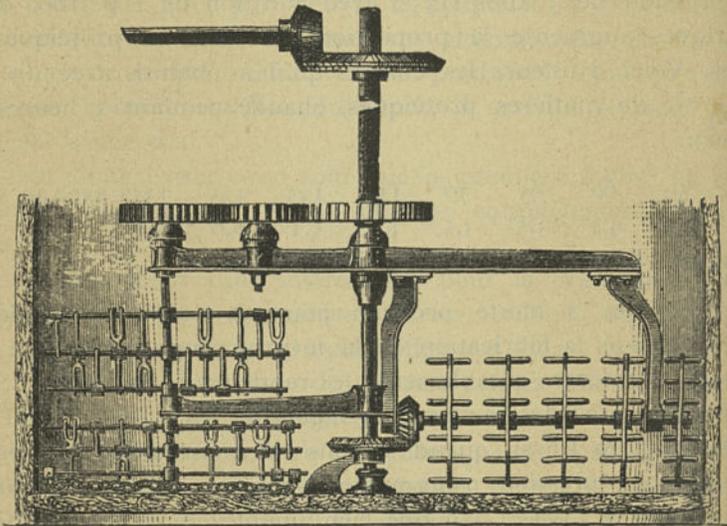


Fig. 260. — Cuve-matière avec vagueur planétaire.

Anciennement le refroidissement après saccharification se faisait sur des *bacs-refroidissoirs* ou *plats bacs* (307). Ces bacs ont été encore longtemps employés en fabrication de levure après avoir été abandonnés en distillerie, et dans la première édition de son

Manuel (1) Otto Durst était encore partisan de ces bacs. Actuellement on les a presque complètement abandonnés, et on a construit des macérateurs avec réfrigérants.

Comme nous avons décrit un grand nombre de ces appareils au chapitre XVI, nous n'y ajouterons que quelques mots en ce qui concerne la fabrication de la levure.

Le réfrigérant placé dans le macérateur doit être d'un nettoyage très facile, par conséquent il faut rejeter les tubes ou serpentins intérieurs et les poches réfrigérantes. Le mieux paraît être un arbre creux muni de tubes ou de palettes creuses dans le genre des appareils représentés par les figures 153 et 154. Le nettoyage se fait très simplement en dirigeant un jet d'eau sur l'agitateur-réfrigérant pendant qu'on le fait tourner. Quand il s'agit de grandes installations, il vaut mieux installer un réfrigérant à part.

La dose d'eau employée à l'empâtage dépend du mode de chauffage jusqu'à la température de saccharification et de la puissance de l'agitateur ou *vagueur* dont on dispose. Si on chauffe à l'eau chaude, on pourra faire un empâtage sec (salade sèche). Avec un agitateur très puissant on peut empâter avec 1 kilo d'eau par kilo de farine, mais généralement on en emploiera de 1 k. 5 à 1 k. 8. Quand on réchauffe par injection de vapeur, on met de 2 kilos à 2 kilos 5 d'eau par kilo de farine. La vapeur d'eau augmente également le volume de la masse, mais pas autant que l'eau chaude, car 1 kilo de vapeur servant à réchauffer à 60° C donne environ le même résultat que $\frac{675 \text{ cal.} - 60}{100 - 60} = 15$ kilos d'eau bouillante.

On peut mettre dans la cuve tout le malt en une fois ou en réserver une partie pour la fin. Il est recommandable de mettre d'abord le malt puis le seigle et les autres farines. Le maïs est généralement cuit à part et l'empois obtenu est ajouté en dernier lieu en place d'eau bouillante pour réchauffer jusqu'à la température de saccharification.

Il est bon d'hydrater le seigle longtemps d'avance dans une eau aussi froide que possible ; on forme une pâte très liante de façon à éviter la formation de grumeaux.

Le malt doit être mis en premier afin d'arriver à répartir aussi bien que possible la diastase dans toute la masse. L'empâtage doit être fait assez lentement pour que l'agitateur ait le temps de bien mélanger.

(1) Handbuch der Presshefefabrikation.

Fréquemment encore les farines sont mises dans des sacs qu'on transporte et vide dans la cuve à dos d'homme. Dans toutes les fabriques bien installées, il existe au-dessus de la cuve-matière une grande trémie recevant les farines, qui tombent ensuite directement dans la cuve, où y sont amenées par une hélice ou un hydrateur.

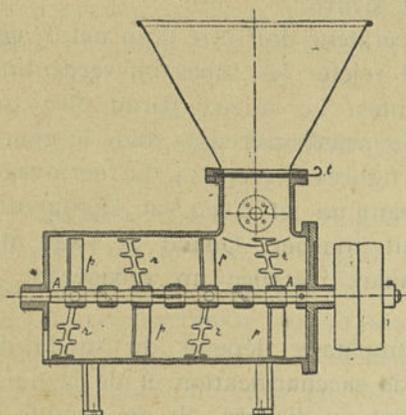


Fig. 261. — Hydrateur de Steel.

L'hydrateur le plus employé est celui de Steel (fig. 261). Il se compose d'un cylindre en fonte dans lequel tourne un arbre AA muni de palettes en hélice *p* et de rateaux *r*. Une trappe *t* sert à régler l'écoulement des farines. L'eau d'empâtage arrive par deux tubulures latérales I.

La température de l'eau d'empâtage doit être choisie d'après celle des farines ; elle doit être plus élevée en hiver qu'en été et être réglée de telle sorte qu'on

ait 50° C à la fin de l'empâtage. C'est la plus favorable à la dissolution des matières azotées. Si on montait immédiatement à 60° C il se produirait, pendant l'empâtage même, une saccharification affaiblissant la diastase.

L'empâtage terminé, au moyen d'une canule, on envoie un jet d'eau sur les parois de la cuve et sur l'agitateur, pour enlever la farine humide qui, restant là, échapperait à la saccharification et prendrait une température favorable à la fermentation butyrique, surtout si on fait plusieurs opérations successives sans que ce petit travail soit fait.

Pour cette raison, il est recommandable d'employer de grandes cuves-matières, et le couvercle que doit porter tout macérateur doit être complètement mobile de façon à ne pas gêner pour les nettoyages. La masse empâtée ou salade, doit être maintenue à 50° C durant au moins une demi-heure, et il est bon de vaguer énergiquement pendant ce temps.

Réchauffage jusqu'à la température de saccharification. — Qu'on réchauffe par addition d'eau bouillante ou par vapeur, il faut éviter que la température ne monte par trop en certains endroits, ce qui occasionnerait une destruction de diastase.

L'eau bouillante doit être ajoutée au moyen d'un tuyau fermé par une pomme d'arrosoir.

Ce mode de réchauffage oblige à faire en cuve-matière des moûts de faible densité; il en résulte une forte dépense de combustible et une plus grande dépense d'eau de réfrigération. En outre on ne peut pas employer beaucoup de vinasses pour diluer le moût saccharifié.

Le réchauffage à la vapeur est préférable. Il peut se faire par injection directe (barbotage) ou d'une façon indirecte (par surface). Le réchauffage par barbotage est plus économique; c'est le plus appliqué. L'injection se fait par un tube débouchant directement dans le liquide et non par un tuyau perforé. L'élévation de température doit se faire progressivement.

La meilleure température de saccharification pour la fabrication de la levure est comprise entre 60 et 63° C (1). La matière première restant la même, le rendement en levure est d'autant meilleur que la température de saccharification peut être choisie plus basse. Une basse température donne aussi à la levure une plus jolie nuance.

On contrôle l'intégrité de la saccharification par la teinture d'iode, qui ne doit donner, dans le moût filtré, aucune coloration bleue ou rouge. Avec de bon malt employé en quantité suffisante, la saccharification est terminée au bout d'une heure. Le seigle n'exige pas une température élevée, car il commence à se saccharifier à 53° C et sa saccharification est complète à 57° C.

Le maïs à cause de la nature cornée de son amande, exige pour l'empoisage de son amidon, une température de 85° C. On le traite de la façon suivante :

On introduit dans un malaxeur un poids d'eau égal à cinq fois celui du maïs à traiter, et à une température de 65° C environ. On y ajoute lentement la farine de maïs en agitant continuellement de façon à détruire tous les conglomerats de farine et à mouiller celle-ci bien uniformément. On injecte ensuite avec précaution de la vapeur dans la masse.

Aussitôt la température d'empoisage atteinte (83° C au moins) on couvre le vase et on laisse reposer durant une heure pour donner

(1) D'après un beau travail récent de M. Pottevin, on sait qu'il existe au moins deux diastases de l'amidon, l'une le transformant en dextrine, l'autre transformant la dextrine en maltose. La première agit jusqu'à 85° C, la seconde s'affaiblit à 65° et n'agit plus à 75° C.

aux grains d'amidon le temps de bien se gonfler. Il vaut mieux cependant porter à la température de 90-92° C.

On conseille souvent d'ajouter une certaine quantité de malt, environ 10 p. 100 du poids du grain, pour produire la liquéfaction du maïs. D'après Otto Durst, cette addition de malt n'augmente pas le rendement en alcool et est par conséquent désavantageuse, puisque toute la diastase de ce malt est détruite. Ce malt doit cependant produire une liquéfaction *permanente* de l'amidon, liquéfaction que le repos à 85° C ne peut pas produire, et qui doit empêcher toute prise en masse de l'empois lors du refroidissement. En outre tout l'amidon de ce malt est transformé complètement en empois, tandis que celui chauffé de 62 à 63° C n'est qu'incomplètement transformé.

La masse d'empois de maïs est ensuite déversée dans le macérateur et remplit la même fonction que l'eau chaude pour rechauffer le contenu du macérateur jusqu'à la température de saccharification.

On peut également cuire le maïs en grains entiers ou concassé, dans des cuiseurs à haute pression. Ce procédé n'est pas à recommander quand on a surtout en vue le rendement en levure, mais quand on tient à avoir un bon rendement en alcool, ce système est fort bon.

Les proportions relatives de maltose et de dextrine qu'on obtient en saccharifiant par les anciens procédés, encore généralement usités, un mélange de malt sec et de seigle, ont été déterminées par Maercker. Voici deux résultats :

	I	II
Sucre	42,8	41,2
Dextrine	39,6	38,7
Résidu non saccharifié	31,9	33,7
	<hr/>	<hr/>
	114,3	113,6

Le rapport du maltose à la dextrine est à peu près de 1 à 1. « Cette proportion de 1 de maltose pour 1 de dextrine, dit M. Duclaux (1), est la moyenne autour de laquelle il faut se tenir. Naturellement les conditions de température qui permettent de la réaliser sont variables avec la proportion de malt employée, avec la céréale qu'on saccharifie. » Nous croyons que le rapport maltose-dextrine doit être aussi élevé que possible, et qu'il faut

(1) *Traité de Microbiologie*, 1900.

tâcher d'arriver à 75-78 et même 80 p. 100. Il est difficile d'atteindre ce résultat avec le malt sec, parce que de l'amidon échappe à la saccharification, mais par l'emploi du malt vert on y arrive, comme nous le verrons.

« On voit, dit encore M. Duclaux (1), qu'il reste encore beaucoup de matière amylacée non atteinte, et que la saccharification est défectueuse. On ne s'explique pas encore bien pourquoi, dans les fabriques de levure, on s'en tenait et on s'en tient encore à ces mauvais rendements. Peut-être est-ce pour mieux assurer l'opération la plus aléatoire, l'acidification. »

Les chiffres cités par M. Duclaux ne s'appliquent heureusement pas à toutes les usines. Il en est, en effet, où l'on obtient d'emblée 70 à 75 p. 100 de maltose, et où l'on a des rendements de 12 à 13 p. 100 de levure et 30 p. 100 d'alcool, ce qui ne pourrait être s'il y avait tant d'amidon non saccharifié.

Dans les bonnes usines employant le procédé Viennois, on ne perd pas plus de 8 à 9 p. 100 d'amidon. Il est vrai que dans la cuve-matière la transformation n'est jamais bien complète, et que 40 p. 100 résistent à la température de 62-63°C. Mais il faut remarquer que la vinasse étant rentrée dans le travail, et le moût restant toujours riche en amylase, les matières hydrocarbonées ayant échappé à une première fermentation peuvent être utilisées dans la nouvelle opération à la production de l'alcool et de la levure.

Quant à l'influence du résidu non saccharifié sur l'acidification, il est exact que la présence de l'amidon favorise l'acidification lactique ; mais il convient d'abord de distinguer entre le *moût à levain* et le *moût principal*. Comme on n'acidifie pas ce dernier, la transformation de l'amidon doit être poussée aussi loin que possible. *D'ailleurs dans les usines qui sont au courant des progrès, l'acidification lactique se fait méthodiquement par ensemencement.*

489. *Appareils employés pour la saccharification.* — Un macérateur fort employé dans les fabriques de levures allemandes est celui de Hentschel (fig. 262). Au fond de la cuve cylindro-tronconique se trouve une plaque de fonte striée, au-dessus de laquelle tourne l'agitateur vertical à ailettes, à raison de 200 tours par minute. Un jeu de leviers manœuvré par un volant permet de rapprocher ou d'écartier l'agitateur-broyeur de la surface de la plaque de fonte striée.

Le refroidissement s'opère au moyen d'un réfrigérant en

(1) *Loc. cit.* p. 715.

cuire rouge, composé d'éléments de tubes courts, disposés les

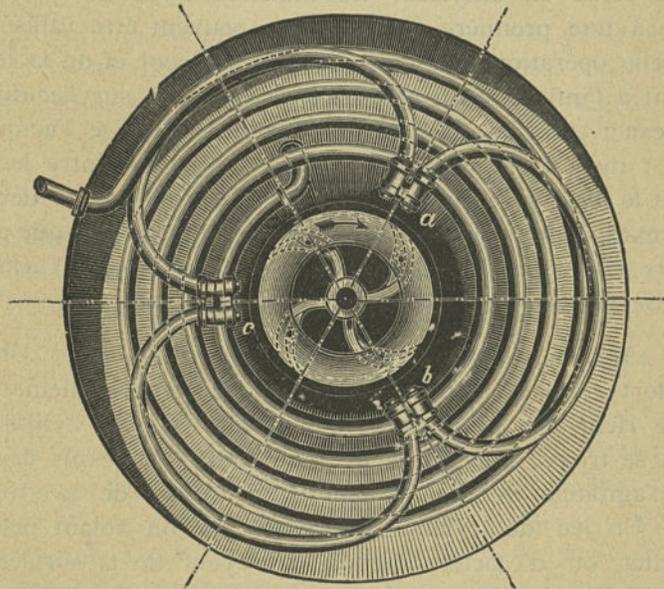
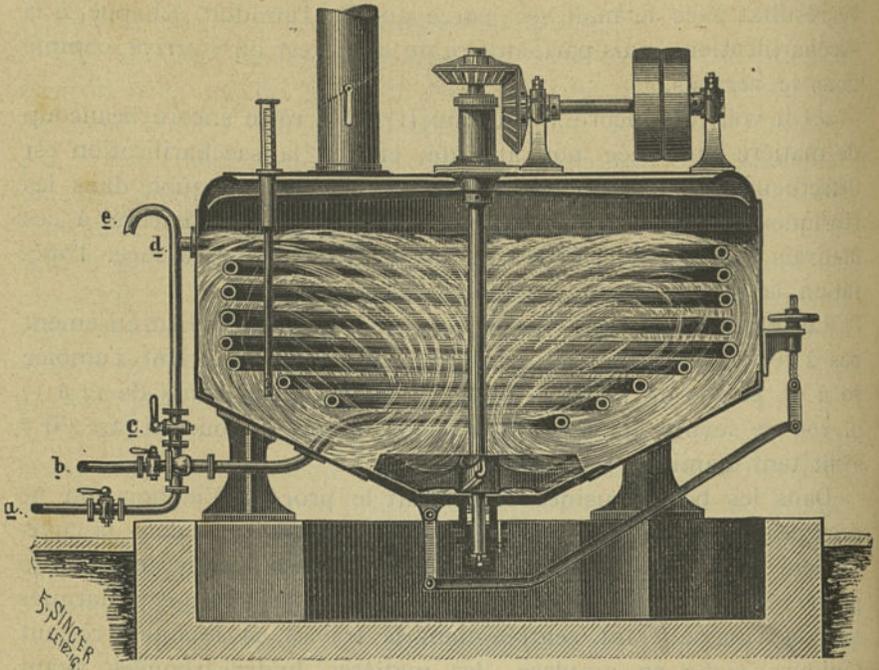


Fig. 262. — Macérateur réfrigérant Henschel.

uns au-dessus des autres, cintrés en forme d'ellipse et réunis

par des raccords *a*, *b*, *c*, munis d'ouvertures fermées par des bouchons filetés. Pour le nettoyage, il suffit de défaire les bouchons et de passer une brosse dans les tuyaux.

Dans quelques usines on emploie aussi un broyeur Bohm placé entre une cuve matière réfrigérante et un macérateur du genre Lacambre (333) monté en charge.

Après avoir empâté le malt et le seigle dans le macérateur, on envoie le mélange dans la cuve matière par le broyeur fonctionnant comme pompe centrifuge. On prépare ensuite dans le macérateur l'empois de maïs qu'on chauffe à 100°. Faisant ensuite de nouveau marcher le dépeleur, on aspire la masse à la partie inférieure de la cuve matière pour la refouler à sa partie supérieure dans la même cuve, en même temps qu'on ouvre très légèrement la communication avec le macérateur pour faire arriver l'empois de maïs en un filet très délié, ce qui évite de brûler de la diastase.

La fig. 263 représente le nouveau macérateur de Hentschel. L'arbre creux porte deux systèmes de serpentins placés symétriquement, en sorte qu'ils poussent chacun le liquide en sens contraire, ce qui augmente beaucoup la rapidité du refroidissement. Pour avoir une répartition régulière de la matière cuite et une température uniforme dans tout le macérateur, Hentschel fait arriver le moût dans le renflement conique inférieur de la cheminée par une vanne mobile à laquelle une bielle communique un mouvement mécanique d'oscillation. Le macérateur peut être chauffé par un barboteur alimenté par les valves V.

Le macérateur Pampe convient également très bien pour la fabrication de la levure pressée. Voici comment on peut s'en servir :

Par hecto de capacité des cuves, on prend environ 15 kil. de grains composés de 25 p. 100 de malt sec, 35 à 40 p. 100 de seigle et 35 p. 100 de maïs. On ajoute un peu de sarrasin quand on peut s'en procurer à bon compte.

Le maïs et le sarrasin sont moulus finement. Le seigle doit être en mouture un peu plus grossière, les enveloppes facilitant la séparation de la levure. La matière azotée (1) qui se trouve immédiatement sous l'enveloppe doit être dissoute, mais dans l'appareil Pampe la matière est projetée contre les parois avec une telle violence qu'on obtient la séparation complète de l'aleurone d'avec l'enveloppe.

On emplit le macérateur jusqu'aux $\frac{2}{3}$ d'eau, on réchauffe à 70°

(1) Cette matière azotée est contenue dans les grains d'aleurone placés sous l'enveloppe (épisperme et péricarpe, pages 247 et 248).

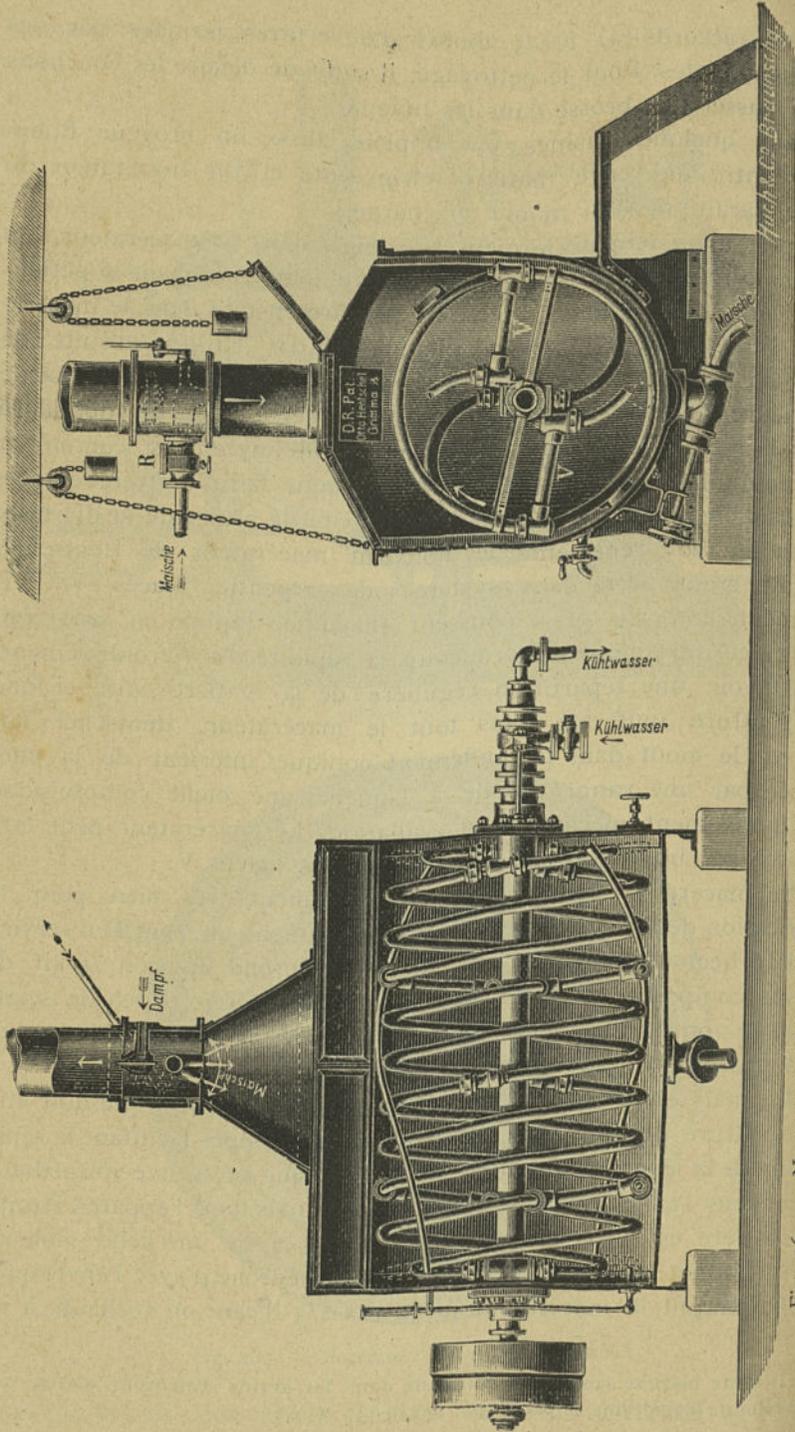


Fig. 263 — Nouveau macérateur Henschel. (Société anonyme de constructions mécaniques GÖLZERN-GRIMMA, Saxe).

par injection de vapeur et on ferme la valve d'aération A et la valve de l'exhausteur B (p. 346). On met l'agitateur en mouvement et on introduit d'abord par l'entonnoir la farine de maïs. Celle-ci est amenée par un transporteur à hélice placé en-dessous d'une trémie fermée par un registre. On règle l'ouverture du registre pour que la farine n'arrive pas trop vite. L'agitateur à turbines amène dans le haut du macérateur un grand volume d'eau qui est ensuite lancé contre les parois. En même temps le disque en cuivre projette le maïs en poussière et le répand uniformément à la partie supérieure de la nappe d'eau.

Pendant l'introduction du maïs, on laisse passer un peu de vapeur dans le serpentín pour empêcher l'abaissement de température. Quand toute la farine est en pâte, on porte à 100°, on ouvre ensuite les deux valves d'aération et de l'exhausteur, puis on fait bouillir durant une heure et demie au maximum, pendant que l'agitateur continue de tourner.

On cesse alors de chauffer sans arrêter l'agitateur.

Quand la température s'est abaissée à 75° C, on ajoute 5 p. 100 du poids de malt employé pour liquéfier la masse et l'empêcher de durcir par le refroidissement.

On ajoute ensuite la farine de seigle en faisant attention que la température ne descende pas en-dessous de 63° C. On ajoute de nouveau 5 p. 100 de malt et, faisant fonctionner l'exhausteur, on descend à 62° C, puis on ajoute le restant de malt.

L'empâtage terminé, on laisse l'agitateur encore en mouvement durant 20 à 30 minutes, la température restant entre 60 et 62° C.

Refroidissement du moût saccharifié

490. Après saccharification le moût est refroidi suffisamment pour qu'en ramenant la densité au degré voulu par addition d'eau ou de vinasse froide, on ait la température qui convient pour la mise en fermentation.

Depuis qu'on sait aérer convenablement les moûts par injection directe d'air stérilisé, le refroidissement sur les *plats bacs* a été généralement abandonné. Les réfrigérants opérant à l'abri de l'air sont maintenant préférables. Otto Durst recommande tout particulièrement le réfrigérant à spirale de Hentschel (312, fig. 161). Avec ce système on peut refroidir à 30° C, ajouter le levain et continuer ensuite de refroidir jusqu'à la température de saccharification.

Mais l'hélice ne semble pas produire un mélange suffisamment énergique du levain avec le moût saccharifié, et à ce point de vue il paraît préférable d'avoir dans la cuve à saccharifier un agitateur avec arbre creux et des tubes en forme de 8.

Pour de grandes installations, un réfrigérant séparé est préférable. Dans ce cas le meilleur système est un réfrigérant tubulaire genre Paucksch en cuivre rouge, construit assez solidement pour pouvoir supporter une pression de 3 kilos. Après chaque opération, ce réfrigérant est rincé abondamment à l'eau froide, puis stérilisé à 120° C. On peut profiter de l'emploi de ce réfrigérant à étages pour le diviser en deux parties : Dans la première on refroidit à 30°, et on reçoit le moût dans un bac où on ajoute le levain ; puis il passe dans la deuxième partie du réfrigérant où on le refroidit jusqu'à la température voulue pour la mise en fermentation.

Le refroidissement jusqu'à 30° C doit être très rapide afin de laisser le moût le moins de temps possible exposé aux températures critiques. Le refroidissement complet ne doit pas durer plus de 1 h. 1/2 au maximum, et ne pas occasionner une dépense de plus de 2 l. 1/2 d'eau (à 10-12° C) par litre de moût.

Quand on refroidit dans la cuve, on conseille de laisser la cuve ouverte jusqu'à ce que la température soit de 50° C et de faire marcher vivement l'agitateur de façon à produire une certaine aération.

Quand on a fait l'empâtage et la saccharification avec aussi peu d'eau que possible, on peut ensuite en profiter pour refroidir rapidement par addition d'eau froide. L'addition des clairs de vinasse produit également un refroidissement. C'est donc dans les cuves de fermentation que le refroidissement se complète, et nous devons immédiatement examiner le mode d'emplissage de ces cuves.

L'emplissage peut se faire par des caniveaux (goulottes) en bois ou en cuivre, par des tuyaux en cuivre ou en fonte.

Les goulottes peuvent facilement déborder et sont d'un nettoyage difficile. Les tuyaux présentent le grand avantage qu'ils se nettoient pour ainsi dire d'eux mêmes et qu'aucune partie de moût ne s'y dessèche. La présence de drèches communique au moût la propriété d'entretenir les canalisations qu'il traverse dans un état de propreté parfaite. Les canalisations doivent être assez étroites pour qu'elles soient complètement remplies à chaque passage de moût, de sorte qu'il ne puisse en rester nulle part qui ne soit entraîné par le courant rapide. Les joints des tuyaux doivent être faits avec des caoutchoucs découpés exactement au diamètre du tuyau.

Lorsqu'il s'agit d'une distillerie qui n'emploie la canalisation que par intermittence, il faut faire des nettoyages. Le rinçage à l'eau n'est pas sans danger, parce que l'eau apporte des microbes, qui rencontrent dans le moût un milieu favorable à leur développement.

Le meilleur procédé de nettoyage consiste, d'après Prior et Delbrück, à pomper dans la canalisation de l'eau bouillante (467 p. 656). Dès que la saccharification est achevée, on opère un premier rinçage avec de l'eau pure ; puis on charge le macérateur d'eau chaude, qu'on amène à l'ébullition et qu'on fait passer dans la conduite.

Si l'on veut obtenir un nettoyage plus parfait, on remplace de temps à autre l'eau par une solution de carbonate de soude à 3 p. 100, et on la laisse même dans le tuyau fermé pendant toute une nuit. On détache ainsi tous les restes de moût, et il suffit d'achever le nettoyage avec de l'eau chaude qu'on peut aciduler légèrement. (*Zeitschrift für Spiritusindustrie* 1899).

Les tuyaux en cuivre sont préférables aux conduites en fonte ; quant aux tuyaux en fer, ils se rouillent rapidement et sont à rejeter ; ils donnent de la levure brune.

Le moût doit être réparti exactement dans toutes les cuves suivant leurs dimensions. On répartit de la même façon la vinasse froide, et finalement on règle exactement la concentration du moût par addition d'eau froide.

Mise en fermentation

491. Anciennement on se servait exclusivement de levure de bière, pour la mise en fermentation du moût principal ; on mettait 3 à 4 litres de levure pâteuse par 100 kilos de farine. Actuellement encore on se sert fréquemment dans ce but de levure de bière où de levure pressée de distillerie.

Dans beaucoup de fabriques, au lieu d'ajouter la levure directement au moût principal, on prélève un petit volume de ce moût, on y met la levure, et, aussitôt qu'il est en pleine fermentation, on l'ajoute au moût principal.

Ces procédés sont actuellement presque abandonnés et remplacés par le système des levains, qui exige beaucoup d'attention et de soins, mais donne régulièrement de bons résultats. Comme distilleries de matières amylacées par le malt, il n'y a guère plus que les fabriques d'*aérolevure pressée* (levure de moût clair avec aération),

qui mettent encore en fermentation directement avec la levure, mais elles n'ont pas jusqu'ici réussi à avoir de bons rendements sans prendre de la levure viennoise. La levure dégénère par cette aération excessive.

Préparation des levains

492. La fabrication de la levure pressée exige des levains différents de ceux qu'exige la fabrication de l'alcool. Un levain qui donne d'excellents résultats dans une distillerie de pomme de terre ou de maïs, donnerait un rendement nul si on l'employait pour la fabrication de la levure, et réciproquement un levain excellent pour cette dernière fabrication peut donner une très mauvaise fermentation en distillerie.

Les levains de distillerie sont préparés à basse température et à une concentration relativement faible ; ceux des fabriques de levure sont obtenus à une température plus élevée et à une plus grande densité.

Le levain de distillerie n'a à remplir qu'une condition : il doit donner une fermentation complète dans un espace de temps assez restreint ; le levain des fabriques de levure doit remplir trois conditions :

1° Il doit avant tout donner lieu à une grande multiplication de levure :

2° Cette levure doit avoir une grande *force* fermentative et avoir un bel aspect ;

3° La levure restant dans le liquide après le ramassage doit y produire une fermentation aussi complète que possible.

Les levains doivent être composés exclusivement d'orge maltée (malt vert ou sec) et de seigle. On croit encore que le malt vert ne convient pas bien à la confection des levains, d'abord parce qu'il ne permet pas d'arriver à une concentration suffisante, et ensuite parce qu'il est plus infecté que le malt sec. Nous avons répondu plus haut à cette objection.

Il est d'usage de considérer que plus un levain est concentré, plus on a de levure dans la fermentation principale. On a cherché à fabriquer des levains très épais, accusant jusqu'à 26-27° Balling, contenant à peu près 40 kilos de grains par hecto. Pour justifier cela, on disait que la levure est d'autant plus énergique qu'elle se trouve en présence d'un plus grand excès de matières azotées et de phosphates ; mais si on a recours aux dosages pour élucider la

question, on constate qu'après la formation de la levure et avant la dégénérescence, il subsiste une grande quantité de matières azotées et phosphatées non utilisées. Donc, si une forte concentration est nécessaire, la raison qu'on en donne n'est pas exacte. L'explication qui paraît se rapprocher le plus de la vérité est celle qu'a donnée Effront en 1896, dans les *Annales de l'Institut Pasteur* (436, p. 637).

D'après Effront, ce qu'il importe de faire ce n'est pas un grand nombre de cellules, mais un petit nombre de cellules très énergiques. Pour donner de bons résultats, la levure doit se trouver au bout de peu de temps en présence d'alcool qui en arrête complètement le développement. Le bourgeonnement dans les levains s'arrête presque toujours à 5 p. 100 d'alcool et à un abaissement apparent de 10° (408, p. 519). Dans les levains qui nous occupent, la levure doit être arrêtée, non seulement dans sa prolifération mais encore dans sa fermentation, par une proportion de 6,5 à 7 p. 100 d'alcool, par une température relativement élevée de 31-33°C résultant de la haute concentration, et par une acidité d'environ 15 g. d'acide lactique par litre (436, p. 636).

Pour la confection des levains, il faut naturellement employer des matières premières convenables et très propres (exemptes de moisissures, etc.). Le malt doit être germé long et faiblement tou-raillé si on emploie du malt sec. Le seigle et le malt sec doivent être moulus depuis au moins 8-10 jours.

Plus la mouture est fine, plus on peut faire les levains concentrés ; mais avec une mouture plus grosse, on a des levains plus lâches : lors de la fermentation de ce levain, il se produit dans le vase un mouvement tournoyant dans lequel le liquide se meut d'un côté à l'autre de la cuve. Dans ce mouvement la levure est remise fréquemment en contact avec l'air, et cette aération favorise la prolifération.

Préparation des moûts à levain

493. Cette opération se fait généralement dans le vase à levain même. Par suite de la difficulté de trouver un appareil mécanique convenable pour le mouvement de masses aussi épaisses, la préparation des levains se fait encore le plus souvent à la main. Ce n'est que dans les grandes usines qu'on fait l'empâtage au moyen d'appareils mécaniques.

Les vases à levains ont la forme et les dimensions représentées

par la fig. 264 (1). On brasse à l'aide de pelles en bois, évidées en

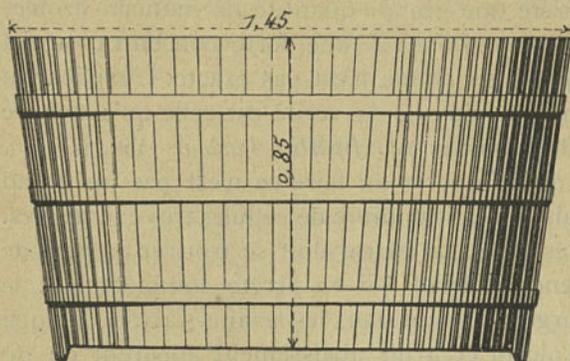


Fig. 264. — Vase à levains.

forme de grille, pour bien diviser la masse et briser les conglo-mérats de farine ou grumeaux (fig. 265).

Presque partout en Allemagne on met 2 à 2 l. 4 d'eau par kilo de farine. On fait bouil-lir l'eau avant de s'en servir

et on laisse se déposer le carbonate de chaux qui se pré-cipite. La température de cette eau, variable suivant la température extérieure, doit être telle que le mélange soit à environ 61-62° C.

On incorpore d'abord la farine de seigle, on nettoie les parois, puis on incorpore la farine de malt et on nettoie à nouveau les parois à l'aide d'eau chaude. Quand on opère par le malt vert on met d'abord le malt puis le seigle, et on assure la disparition des gru-meaux au moyen du dépeleur Bohm (290).

On laisse au repos une heure en tenant le vase ou-vert, on agite pour écraser de petits grumeaux qui pourraient encore subsister, puis on laisse reposer encore durant une heure. Cette durée de deux heures est nécessaire pour des moûts aussi concentrés (22 à 24° Bg. soit une densité de 1.095 à 1.100).

Au bout de ce temps la masse doit être fluide et s'écouler rapidement de la pelle. Si, au contraire, le moût est encore épais et consistant (présence de beaucoup de dextrine), c'est une preuve que le malt est mauvais. D'après les essais de Delbruck 1 gramme de malt doit pouvoir saccharifier 80 grammes d'ami-don à l'état d'empois.

Quand on fait les levains à la machine, on se sert d'un macérateur à levains (fig. 241 et 242). Après saccharification,

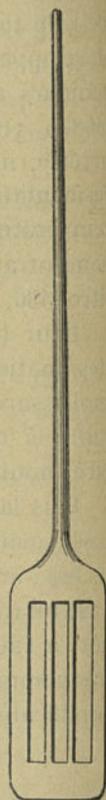


Fig. 265. — Pelle en bois pour diviser la masse et briser les grumeaux.

(1) *L'alcool et le sucre*. Paris, 1893.

on vide le pétrin dans des cuves à levain ou mieux dans des baquets montés sur roulettes et situés dans une salle en-dessous du macérateur (pétrin à levains). Cette disposition évite les tuyauteries difficiles à nettoyer.

On peut également faire l'empâtage et la macération dans ces baquets ou cuviers. Dans ce cas chaque cuvier porte un téton en bronze fixé sur le fond et qui sert de pivot à un arbre vertical qu'on descend dans le cuvier. L'arbre porte un peigne constitué par une traverse horizontale en fer armée de 16 palettes en fer méplat. On descend l'arbre, on ajuste le couvercle en bois en deux pièces, on met l'eau à la température voulue, on place un entonnoir sur le couvercle, on fait tourner le *vagueur* et on verse la farine de seigle et le malt.

Il faut une demi-heure et deux ouvriers pour faire le mélange.

On enlève le cuvier sur le chariot et on le transporte dans la salle des levains où on le dispose sur des supports de même hauteur.

Il est bon d'aérer le plus possible le moût à levain pendant sa confection, l'aération est très utile pour faciliter l'acidification lactique et éviter la fermentation butyrique.

Acidification du moût à levain

494. Nous avons déjà parlé longuement de cette acidification (p. 533, 633).

Après saccharification on laisse refroidir. A 59° C l'acidification commence ; vers 52-53°, température la plus favorable d'après Delbruck, elle prend le maximum d'intensité. La température ne doit pas descendre en-dessous de 47-48°C. On agite fréquemment de façon à dissoudre beaucoup d'air dans le moût. Les parties inférieures doivent être d'un jaune franc et la surface doit devenir brune après une demi-heure de repos. Il ne doit se produire aucune bulle de gaz (acide carbonique ou hydrogène). Quand la surface pâlit, cela indique la présence du ferment butyrique, et par conséquent le travail est très mauvais.

Dans ces conditions, on obtient au bout de 30 heures un moût contenant 14 à 15 gr. d'acide par litre, comptés en acide lactique. Sur ces 15 gr. il doit y avoir au moins 80 p. 100 d'acide fixe.

« A quoi sert cette fermentation lactique ? se demande M. Duclaux (1). Une pratique séculaire en a démontré les avantages.

(1) Traité de microbiologie, 1909.

D'un autre côté elle n'est pas nécessaire, et on peut s'en passer quand on opère purement. Elle n'est utile que dans la grande industrie, où on est exposé à l'invasion des microbes et aux fermentations secondaires. Ceci nous permet de deviner sa raison d'être.

» Le moût sur lequel on opère est très faiblement acide, il l'est même d'autant moins qu'on y diminue davantage la proportion de grains germés, qui s'acidifient toujours pendant la germination. Nous savons que les liquides voisins de la neutralité sont facilement envahis par les bactéries, dont les germes sont innombrables sur toutes les matières premières employées dans cette fabrication, et que les températures atteintes ont respectées. Il s'agit, dans cette masse de germes variés, de donner la prédominance aux germes des divers ferments lactiques, qui, en rendant le liquide acide, le protègent contre d'autres ferments qui pourraient y amener des transformations plus fâcheuses. La fermentation lactique y devient donc une fermentation antiseptique.

» Voilà évidemment son but principal. Il y en a d'autres, qui sont secondaires. En premier lieu, l'acidité produite est non seulement défavorable aux bactéries, elle est favorable aux levures, à la condition de n'être pas excessive. Elle est aussi favorable aux mucédinées (moisissures) : mais, celles-ci, l'ensemencement du moût par la levure permet d'en avoir raison. En second lieu, on a dit, et même montré par l'expérience, que la présence de l'acide dissout une partie des éléments albuminoïdes de la matière première, les rend assimilables par la levure, et amène même une peptonisation qui serait impossible sans elle. Il est certain que quand on emploie du seigle ou du maïs, on est exposé à voir le moût être pauvre en azote, et que tout ce qui rend soluble et assimilable la matière albuminoïde du grain ne peut qu'aider à la fabrication. Mais, comme le rendement est au moins égal, si non supérieur, dans les fabriques de levure pure, où on ne se sert pas d'acide, il demeure douteux que cette action dissolvante de l'acide joue un rôle dans le résultat, alors même qu'elle entrerait en jeu. Son rôle principal semble bien être celui d'un antiseptique.

» Dans tous les cas, on voit que cette opération importante de l'acidification est un peu abandonnée au hasard, et constitue le défaut redouté du fabricant de levure. Il est clair qu'il y a de ce côté une réforme utile à opérer. On peut, soit ensemercer du ferment lactique préparé d'avance pour assurer l'acidification, soit remplacer la fermentation par addition d'acide lactique en nature, ou d'un

autre acide, car, avec le mode d'action que nous lui avons attribué, c'est son acidité seule qui intervient. Schulte a même montré qu'au point de vue de la solubilisation de l'azote du seigle, l'acide lactique pouvait être remplacé par une proportion moitié moindre d'acide sulfurique. L'acide chlorhydrique est plus dangereux à cause de son action sur la levure, ou plutôt sur la fermentation (1) ».

Il semble que dans l'acidification lactique il se forme d'autres produits que l'acide lactique et qui jouent un grand rôle, car l'acidification artificielle par des acides lactiques ou autres n'a jamais donné de résultats.

L'acidification lactique doit se faire dans une salle à part chauffée à 35° C par un chauffage à vapeur ou autre. Pour mieux assurer l'acidification, il est bon d'ajouter au moût saccharifié 1/10 de son volume de moût acidifié et chauffé préalablement à 65° C pour éliminer les bactéries faciles à tuer.

Refroidissement du moût à levain après acidification

495. Autrefois on laissait refroidir fortement le moût à levain, ce qui n'était pas sans danger (fermentation butyrique), puis on complétait le refroidissement par addition d'eau froide. Actuellement on se sert partout des réfrigérants mobiles que nous avons décrits à propos de la distillerie (459). Les bacs à levains montés sur roulettes ou les cuiviers montés sur chariot sont amenés sous le réfrigérant, dont le mouvement est à l'étage supérieur pour éviter que de la graisse ne tombe dans le moût.

Le refroidissement doit être aussi rapide que possible. Il ne faut pas mettre plus de quarante minutes pour ramener le moût de 45 à 17° C, ce moût ayant une concentration de 23-24° Bg.

Fermentation du moût à levain

496. Le moût à levain peut être mis en fermentation avec de la levure-mère seule, avec de la levure-mère et un peu de levure ou

(1) Dans le travail des mélasses par les levures de vin, on a, dans ces derniers temps, substitué l'acide sulfurique à l'acide chlorhydrique pour la saccharification du maïs destiné aux levains, à cause de l'action défavorable de l'acide chlorhydrique sur la levure.

enfin de la levure seule. D'après Otto Durst (1) l'emploi direct de la levure donnerait des rendements un peu plus élevés et serait plus commode. L'emploi de la levure-mère nous paraît mieux se prêter à un travail régulier.

Le moût acide et froid estensemencé avec un $\frac{1}{4}$ de volume de levure-mère ayant 17 à 18 heures d'âge et refroidie à 11-12° C au moins. La fermentation s'établit en 15 à 20 minutes. Le levain gonfle énormément, puis sa surface s'affaisse. Au bout de 3 heures environ, dans un travail au malt vert, on voit apparaître la levure dans les bulles, qui deviennent laiteuses.

Au bout de 7 à 9 heures, la *reproduction* de la levure s'arrête brusquement: il y a alors 5 p. 100 d'alcool dans le liquide et la température doit être montée de 17 à 31° C.

Le levain est alors prêt pour le prélèvement de la levure-mère. Au microscope les cellules de levure sont en chaînes, mais les bourgeons ont la grosseur des cellules-mères. Il faut alors prélever la levure-mère et la refroidir brusquement.

Du prélèvement de la levure-mère dépend le sort du levain suivant, c'est-à-dire du lendemain.

La levure-mère se prélève 9 à 10 heures après l'ensemencement. Une heure après l'enlèvement de la levure-mère, la température est de 31 à 31°5 C.

La fermentation diminue d'intensité, et on doit attendre quelques heures pour ensemenecer le levain.

Si on dose le maltose dans le levain fermenté dans lequel la reproduction de la levure est complètement arrêtée, on trouve qu'il reste 40 à 50 gr. de maltose non fermenté par litre et même quelquefois davantage.

La multiplication de la levure a été arrêtée sous l'influence simultanée de l'acide, de l'alcool et de la température de 33° C.

On conseille souvent d'aérer les levains dans le but d'augmenter la reproduction de la levure. Dans certains cas on a remarqué que si on aéraît par trop après la mise en levure on a des levains qui donnent moins de levure à la fermentation principale.

Mise en fermentation du moût principal

497. Pour arriver à de bons résultats, le *levain doit être mélangé au moût exactement à la température qu'il accuse dans les baquets*. Une

(1) Handbuch der Presshefefabrikation, 2^{me} édition, 1896.

différence de 2 degrés se fait immédiatement sentir d'une façon défavorable.

Pour cette raison, l'ensemencement doit se faire dans la cuve-matière. Dans le cas du réfrigérant tubulaire, on passe deux fois au réfrigérant.

La levure-mère ne doit pas être prise trop tôt ni trop tard. Si on la prend trop tôt, les cellules ne sont pas encore d'égale grosseur, le levain qu'on fera avec cette levure mère donnera d'abord une mousse beaucoup plus élevée, sa température pourra monter à 35-36-37° C.

Pour éviter cela, on installe quelquefois un réfrigérant pour les cuves à levains. Ce système est mauvais ; il vaut mieux y remédier pour les levains suivants en prenant la levure-mère un peu plus tard ; on la prendra, au contraire, un peu plus tôt (plus jeune), si le levain ne s'échauffe pas suffisamment.

Un levain qui a monté très haut en température donne une cuve à mousse légère et une levure de faible densité ; un levain dont la température ne s'est pas suffisamment élevée donne peu de mousse ; cette mousse est épaisse, mais elle n'est pas assez abondante. On a alors un faible rendement en levure et on trouve beaucoup de levure de fond.

Dans le cas d'un levain trop fermenté par suite d'une température exagérée, on conseille de renforcer le levain après enlèvement de la levure mère, par addition d'un peu de moût prélevé sur le moût principal. Dans le cas contraire, celui où le levain fermente paresseusement et s'échauffe par conséquent lentement, on conseille de prolonger la fermentation du levain jusqu'à au moins 12° Bg et de traiter le levain suivant comme suit : Après acidification on réchauffe le moût à 65° C par injection de vapeur, on laisse reposer une demi-heure, on refroidit et on met en levure.

Ce réchauffage peut, même quand il n'est pas complètement nécessaire, être fait une fois par semaine dans le but d'annuler l'effet d'une infection qui aurait pu se produire. Dans ce moût réchauffé la fermentation se fait beaucoup mieux.

Aussitôt que le levain est ajouté au moût, il faut nettoyer à fond les vases à levains, enlever toutes les particules de moût et laver les parois à la brosse et à l'eau bouillante. Il n'est pas à conseiller de nettoyer les cuves chaque fois à la chaux. Ce serait nuire inutilement au ferment lactique logé dans les pores du bois et s'exposer à avoir une acidification insuffisante. Ce n'est que dans le cas où l'acidité est de mauvaise nature (acide butyrique) qu'une

désinfection à la chaux ou même au bisulfite de chaux est nécessaire (1).

Le transport du levain de la salle à levains à la cuverie peut se faire à l'aide de baquets à deux anses, tels que celui de la fig. 266, portés par deux hommes ou portés par un chariot. Quand on a des baquets montés sur roulettes, naturellement cela vaut encore mieux.

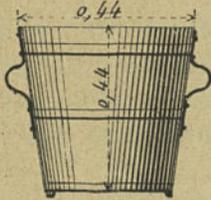


Fig. 266.— Baquet pour le transport du levain.

Après ensemencement, on ajoute environ 30 à 35 p. 100 du volume de vinasses. Ces vinasses ne sont pas acides, comme on le professe encore souvent, mais sont conservées, au contraire, à haute température pour éviter l'acidification. Ces vinasses doivent être très claires, sinon la levure récoltée n'est pas blanche.

La vinasse intervient : 1° par son acidité qui *immunise* le moût ; 2° par ses matières fermentescibles qui augmentent le rendement ; 3° par ses matières azotées utilisables par la levure.

Malgré cette addition de vinasse acide, le mélange obtenu n'a pas encore une acidité suffisante. « Il est utile d'acidifier ce liquide, dit M. Duclaux (2), pour que la levure qu'on y mélange, et qui est en fonction dans un liquide acide, ne soit pas dépaysée en y arrivant. On peut se servir pour cela d'acide lactique ou d'acide sulfurique, de ce dernier surtout, qui est un peu entré dans la pratique des fabriques de levure. On préfère souvent faire un moût plus concentré, et l'étendre, au moment d'y ensemencer la levure avec le moût acidulé d'une opération précédente arrivée à sa fin, c'est-à-dire ayant donné sa récolte de levure, et distillé pour en retirer l'alcool. Ce liquide (*la vinasse*) plus ou moins limpide contient de l'acide lactique, encore des matériaux nutritifs, et ne coûte rien. Il devient seulement dangereux quand de fausses fermentations y ont introduit des acides ou des matériaux non volatils nuisibles au développement de la levure. La quantité d'acide à ajouter doit être calculée en tenant compte du degré d'alcalinité variable de la matière première. On a conseillé de faire cette addition d'acide au moment de la saccharification. Mais il faut prendre garde à l'influence qu'exerce l'acidité sur la

(1) Otto Durst (*Handbuch der Presshefefabrikation*) dit : dans le cas d'une acidité trop forte. C'est inexact : quand l'acidification lactique est bonne, elle n'est jamais trop forte, puisqu'elle s'arrête d'elle-même (p. 641).

(2) *Traité de Microbiologie*, 1900.

diastase du malt, qui s'en trouve affaiblie ; il faut savoir choisir ou au moins être très prudent quand on fait le mélange. La dose d'acide ne doit pas dépasser celle qui exalte le plus l'activité du malt. et qui est très faible. »

Il n'est pas d'usage d'ajouter l'acide lors de la saccharification.

La dose d'acide, à ajouter dans les cuves, doit être d'autant plus forte que les matières employées sont plus impures (plus souillées de bactéries). Si on n'ajoutait pas d'acide il se produirait toujours une forte acidification pendant la fermentation. Quant à la dose de vinasse, on arrive à peine à en employer 33 p. 100. Si on en employait en excès, on intoxiquerait la levure par ses produits de sécrétion et d'excrétion. La vinasse doit être ajoutée aussitôt après le levain, dans le but d'augmenter l'acidité sans brusquerie. L'acidité finale doit être de 0 g. 5 par litre. Aussitôt après l'addition du levain on prend la densité du moût sur un échantillon filtré dans une chausse en laine.

Formation de la levure

498. Le levain étant intimement mélangé au moût, après une demi-heure ou une heure on voit apparaître les premiers signes de la fermentation. L'acide carbonique entraîne d'abord à la surface les particules solides et les débris d'enveloppes des grains ; il se forme un chapeau de drêche, puis le gaz rompt ce chapeau, le perce par endroits, et on voit apparaître une mousse claire qui devient ensuite laiteuse. La mousse monte fortement : pour une cuve de 2 mètres, elle peut atteindre une hauteur de 0^m50 et quelquefois, avec certains seigles et surtout des seigles nouveaux, 0^m80 de hauteur.

La cuve n'est pas remplie de façon à laisser de la place pour la mousse et à en éviter le déversement par dessus les bords. Si les cuves sont trop basses, on les munit de rehausse mobiles en fer blanc ou en cuivre.

On commence le ramassage quand la mousse s'affaisse de quelques centimètres, ce qui a lieu généralement 10 à 12 heures après la mise en levain.

Tant que la fermentation est vigoureuse, la mousse monte ; mais aussitôt que la réserve de maltose est épuisée, la levure doit attendre le travail de l'*amylase* qui est en retard, et la mousse tombe. C'est à ce moment que la levure est mûre (1).

(1) Autrement dit la maturité de la levure doit être liée à un commencement de pénurie de nourriture.

Evidemment pour bien s'assurer de la maturité, il faudrait, ici encore, recourir au microscope. A l'examen microscopique, les cellules doivent être bien développées et complètement isolées l'une de l'autre. On ne doit voir qu'exceptionnellement quelques cellules présentant encore des bourgeons (4 à 8 % au maximum).

Si on écume trop tôt, on perd beaucoup de moût, la levure se dépose difficilement, se presse mal, est peu énergique et d'une conservation difficile. Même après s'être assuré de la maturité par le microscope, il vaut mieux attendre encore un peu avant de récolter, que de récolter trop tôt. Il n'en résultera aucune perte en levure.

Pour que la levure monte bien, il est nécessaire que le moût ait une certaine constitution physique, dépendant de sa concentration et de son degré de viscosité. Un moût trop concentré ou trop visqueux rend difficile la montée de la levure. A concentration égale, le degré de viscosité dépend surtout des matières premières employées. Le sarrasin et les vesces diminuent la viscosité et favorisent la montée de la levure. L'orge, le maïs et les lupins diminuent la viscosité, mais sans pousser la levure vers le haut comme le fait le sarrasin.

La densité du moût ne doit pas être trop forte, pour ne pas empêcher la montée de la levure ; il ne faut généralement pas dépasser 10-12° Balling. Moins le moût est concentré, plus la levure qu'on recueille est pure et moins on a de levure grise. On a aussi plus de rendement ; et comme on peut employer plus de vinasse, la levure est plus énergique.

En dehors des matières azotées, il y a un autre produit qui influe beaucoup sur le degré de viscosité du moût, c'est la dextrine. Avec une mauvaise saccharification, les cuves débordent facilement, surtout quand on travaille sans vinasse. Nous avons dit que la saccharification doit être aussi complète que possible et que le rapport du maltose à la dextrine doit être maximum.

Une fermentation trop mousseuse peut provenir aussi d'un excès d'acidité. Il se produit dans ce cas un grand nombre de cellules levuriennes très petites, la levure ne mûrit pas et le rendement est mauvais.

Si le levain employé n'est bien mûr et que le moût ait déjà par lui-même, par suite de sa constitution physique, une tendance à monter, il se produit également des cellules de levure qui, n'arrivant pas à maturité, restent légères et sont facilement entraînées à la surface par l'acide carbonique. On a alors une mousse sans consis-

tance qui déborde facilement. La levure récoltée n'a pas de force fermentative. Le remède consiste à employer des levains bien à point.

Un levain trop peu acide donne également une fermentation trop mousseuse, ce qui s'explique facilement d'après ce que nous avons dit du rôle de l'acidification. Au lieu d'avoir dans le levain un petit nombre de cellules fortement nourries et très énergiques, on a un grand nombre de cellules mal développées, et on retombe dans le cas d'un levain incomplètement mûr. On voit qu'une faible acidité correspond généralement à une mauvaise acidification.

Quelquefois la mousse retombe fortement au moment de la maturation et les bulles gardent longtemps un aspect vitreux. C'est un signe que la levure n'arrive pas à être bien mûre. Cela peut tenir à ce que l'acidité du moût principal était insuffisante, à ce que la saccharification s'est faite à une température trop élevée (manque de diastase).

D'après Otto Durst (1) cela peut tenir aussi à ce que la saccharification est trop avancée. C'est inexact ; nous avons déjà dit que la saccharification doit être poussée aussi loin que possible.

L'erreur de Durst provient de ce qu'une saccharification prolongée produit toujours une infection du moût. Tout le secret de la fabrication de la levure viennoise réside dans un travail soigné à la cuve matière et à la préparation des levains. Il faut annuler complètement l'acidification dans la cuve-matière et avoir une très forte acidification dans les levains. Le macérateur doit être nettoyé à fond et complètement stérilisé après chaque opération, et le travail doit être mené rondement.

Dans ces conditions, les bactéries apportées par le malt et les autres matières premières étant sporulées n'ont pas le temps de se développer et l'infection est nulle.

Au contraire, si des parcelles de moût restent dans la cuve-matière, les microbes y produisent plusieurs générations successives et l'infection est inévitable.

Pour les levains il faut au contraire ensemer le moût avec du levain précédent et pousser l'acidification aussi loin que possible, pour que cette acidification empêche toute acidification ultérieure et donne une levure très énergique.

Quand on utilise beaucoup de maïs sans employer en même temps du sarrasin, une trop forte chute de la mousse est constante :

(1) *Haudbuch der Presshefefabrikation*, 1896.

dans un travail au seigle sans maïs, cet accident se produit beaucoup plus rarement.

Ramassage de la levure

499. On ramasse la levure avec de grandes cuillers en fer blanc et à long manche. Dans le cas des cuves carrées ou rectangulaires, il est bon de rendre mobile le devant des cuves à un angle, c'est alors par cette ouverture, constituant un déversoir, qu'on fait écouler la mousse chargée de levure. Dans ce cas on fait souvent les parois assez élevées pour qu'elles puissent servir de rehausse, et en faisant glisser celle du devant vers le bas, la levure s'écoule.

On doit toujours prendre le dessus de la mousse et s'assurer de la maturité. C'est surtout au moment où on approche du liquide qu'il faut faire attention, afin de ne pas en enlever. A ce moment on se sert généralement d'une volige très flexible avec laquelle on pousse la levure vers un endroit où on la ramasse. Il faut ici également prendre garde de ne pas enlever de moût avec la mousse.

Le système le plus pratique pour le ramassage de la levure consiste à avoir des cuves carrées ayant au maximum 2 mètres de hauteur, et à installer sur un des côtés de la cuve une *barquette* munie à sa partie inférieure d'un tuyau vertical descendant jusqu'au fond de la cuve qu'elle traverse par un trou muni d'une boîte à calfat. Au-dessus de la barquette, une tige filetée, placée dans le prolongement du tuyau, sert à guider l'appareil à la partie supérieure; elle passe dans une équerre en fer fixée sur le rebord de la cuve. Un écrou sert à élever ou à abaisser la barquette dans la cuve. A l'intérieur de la barquette se trouve un tuyau perforé recevant de l'eau sous pression pour faire tomber la mousse, la refroidir immédiatement et l'entraîner vers le tamiseur.

Au moyen d'un rateau ayant toute la largeur de la cuve, on fait tomber dans la barquette la totalité de la mousse en une seule fois.

Ce dispositif donne une économie de main-d'œuvre considérable; dans une cuverie où il faut quatre hommes pour le ramassage de la levure, un seul ouvrier suffit.

Il importe de refroidir la levure tout de suite pour durcir la cellule et diluer le moût qui l'entoure. Dans ce but, la mousse est versée dans des noyères où passe un courant d'eau froide et qui aboutissent dans une petite cuve de décantation. On choisit cette

cuve très petite afin que l'emplissage et la vidange soient très rapides.

Dans cette cuve, la température est d'environ 18° C, ce qui est beaucoup trop chaud : c'est pourquoi la levure ne peut y séjourner que très peu de temps.

Tamissage

500. Le tamissage a pour but de séparer les drêches et les particules mucilagineuses qui accompagnent la levure. Pour les drêches un tamis à grosses mailles suffit, mais pour les particules plus ténues, il faut un tamis de soie très serré. Il est donc à conseiller d'employer toujours deux tamis, sinon on a parfois de la levure grise. Le meilleur tamis est le tamis à secousses ou sasseur de moulin (fig. 267), à très faible amplitude d'oscillation, 2 à 300 mm. et 220 tours par minute, c'est-à-dire un *trembleur* ; cependant pour le premier tamissage on peut employer un tamiseur du système Hagspihl (fig. 268).

Sasseur. — Nous donnerons ici une description détaillée d'un modèle de tamiseur qui donne d'excellents résultats :

Le délayeur mélange les sons et pellicules du premier tamis E avec de l'eau et par son trop plein envoie ces sons délayés sur le deuxième tamis M.

Les deux tamis sont composés d'un cadre recevant leur mouvement de l'arbre coudé par l'intermédiaire de deux bielles. Sur la partie supérieure de ce cadre est fixée une toile métallique très fine et très serrée, destinée à retenir les sons et pellicules et les impuretés les plus grossières. Sur la partie inférieure de ce cadre est fixé un tissu en soie n° 140, destiné à retenir le reste des particules qui auraient pu passer à travers la toile métallique, et à parfaire le tamissage de la levure.

Le deuxième tamis n'a pas de tissu en soie.

Le liquide passé à travers le premier tamis tombe dans la cuvette F : celui du deuxième tamis, dans le bac en bois B.

Les sons, pellicules, etc., du premier tamis, tombent dans le délayeur G ; ceux du deuxième tamis tombent dans une cuvette et sont envoyés dans la cour ou mélangés aux drêches.

De la cuvette F la levure tamisée s'en va aux bacs décanteurs de levure.

Du bac B la levure provenant des cuves à fermenter est

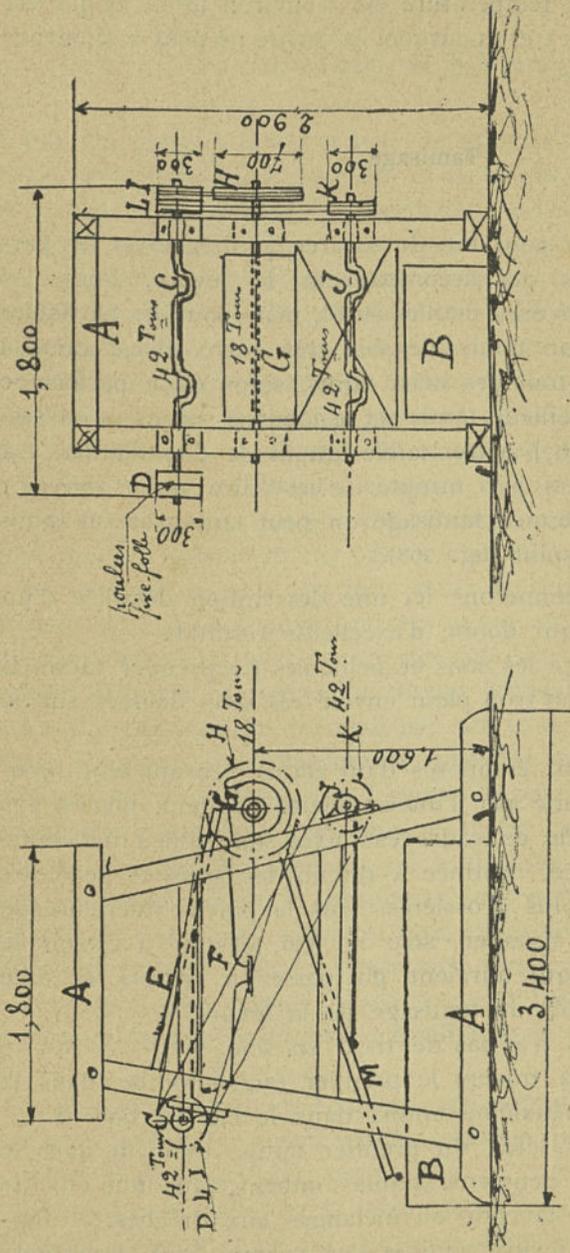


Fig. 267. — Tamis à secousses ou sassois de moulin.

- AA. Deux bâtis latéraux en bois.
- B. Bac en bois recevant la levure venant des cuvés de fermentation par l'intermédiaire d'une rigole.
- C. Arbre coudé recevant sa commande en D (poulies folle et fixe).
- D. Commande de l'arbre coudé.
- E. Premier tamis supérieur.
- F. Cuvette recevant la levure filtrée ou tamisée.
- G. Délayeur recevant les sons et pellicules du premier tamis.
- H. Poulie commandant le délayeur G.
- I. Poulie calée sur l'arbre C et commandant la poulie H.
- J. Deuxième arbre coudé recevant son mouvement de la poulie K.
- K. Poulie calée sur l'arbre J et commandée par la poulie L.
- L. Poulie calée sur l'arbre C.
- M. Deuxième tamis recevant son mouvement par les coudés de l'arbre J et par la poulie K.

mêlée avec le liquide filtré du tamis M et le tout est envoyé, par une pompe, sur le tamis E.

Tamiseur Hagspjhl. — Le liquide est pompé dans l'entonnoir T et, par l'arbre creux W, il s'écoule sur un tamis conique. L'arbre creux porte 2 rouleaux tronconiques qui, par leur pression, poussent à travers le tamis la levure qui ne passe pas d'elle-même. Les drêches se collent sur les rouleaux ; elles en sont séparées par des lames de tôle qui les font avancer vers la périphérie d'où elles s'écoulent par le canal central A. La levure tamisée s'écoule par la tubulure S et par le tuyau qu'on y raccorde. Un emplacement de 2 mètres de diamètre et de 2 m. 50 de hauteur suffit pour l'installation de ce petit appareil.

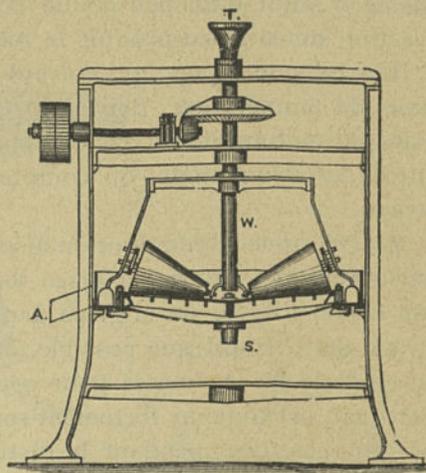


Fig. 268. — Tamiseur Hagspjhl (Lion Levy, à Hambourg).

Aussitôt que le petit bac dont nous avons parlé est plein, on mélange énergiquement puis on laisse reposer.

Le dépôt se fait par ordre des densités ; si la levure est bonne, elle se dépose rapidement en grumeaux. On décante l'eau aussi vite qu'on le peut et on remet de l'eau froide pour arriver à 12-13° C.

A chaque décantation, on enlève la partie supérieure du dépôt, qui contient la levure grise, composée des cellules légères et de grains. On envoie ensuite la levure dans une autre série de bacs dits *bacs d'expédition*, où on la laisse jusqu'à ce qu'on en ait besoin pour répondre aux demandes de la clientèle.

Dans ces bacs on change l'eau toutes les 24 heures ; dans ces conditions, on peut conserver la levure pendant 3-4 jours. Le lavage, il est vrai, affaiblit la levure, mais relativement peu, à cause de la forte épaisseur de son enveloppe, qui la rend beaucoup moins sensible que la levure de bière.

La levure se dépose d'autant plus vite qu'elle est meilleure, plus jeune et plus active. D'après M. Duclaux (1) il n'est pas probable qu'il y ait là des questions de variation de densité ; il n'y a sans doute

(1) *Traité de Microbiologie*, 1900.

que des variations dans les attractions capillaires entre l'eau et les globules. Quand dans une émulsion d'argile on introduit une trace de chlorure alcalin ou alcalino-terreux, les particules invisibles d'argile se réunissent en grumeaux qui se déposent rapidement. De même il suffit d'un peu d'alun pour activer le dépôt de la levure. L'action de la glace produit le même effet.

Les bacs de lavage, qui doivent être en bois, pour éviter les variations de température, doivent être assez plats ; ils sont munis d'une glace permettant de suivre le dépôt de la levure. Par hecto de capacité de la cuve-matière, on compte qu'il faut 0 l. 5 à 0 l. 6 d'eau de lavage.

En été, quand l'eau dont on dispose n'est pas suffisamment froide, on la refroidit par de la glace logée dans des nageurs, mais non par fusion directe de la glace dans l'eau (314). La première eau de lavage doit, autant que possible, être distillée à part, surtout quand on emploie de la vinasse pour couper le moût avant fermentation. Cette eau est toujours fortement souillée de bactéries dont les spores ne sont pas tuées pendant la distillation.

On a conseillé de turbiner la levure aussitôt après le tamisage, ce qui permettrait d'obtenir une séparation complète entre la levure lourde et les parties plus légères. Mais cette opération ne semble pas avoir donné de résultats positifs jusqu'ici. Pour que la turbine fonctionne, une très grande vitesse est nécessaire ; celle-ci détruit facilement des cellules de levure dont le contenu occasionne l'altération du produit.

Si la levure doit être additionnée d'amidon, on ajoute celui-ci après l'écoulement de la dernière eau de lavage. Cet amidon doit être choisi avec beaucoup de soins, car s'il est acide ou souillé par des microparasites, il peut causer une altération de la levure. On emploie le plus souvent de l'amidon de riz ou, de préférence, de la fécule de pomme de terre.

L'amidon sec absorbe 33 p. 100 de son poids d'eau qu'il enlève à la levure, facilitant ainsi la pression.

Pressage de la levure.

501. Anciennement la levure était enfermée dans des sacs en lin qu'on soumettait à l'action d'une presse à levier ou d'une presse à vis. La presse à levier présentait l'avantage de donner une pression lente et régulière. Mais le pressage à la main, pour une usine

importante, exigerait énormément de place et beaucoup de temps. Pour cette raison ce travail a été remplacé par celui des filtres-presses.

La fig. 269 représente une presse à vis et la fig. 270 une presse à levier d'un système perfectionné.

Actuellement le pressage se fait généralement au moyen de filtres presses, appareils inventés pour la fabrication du sucre. Dans cette industrie,

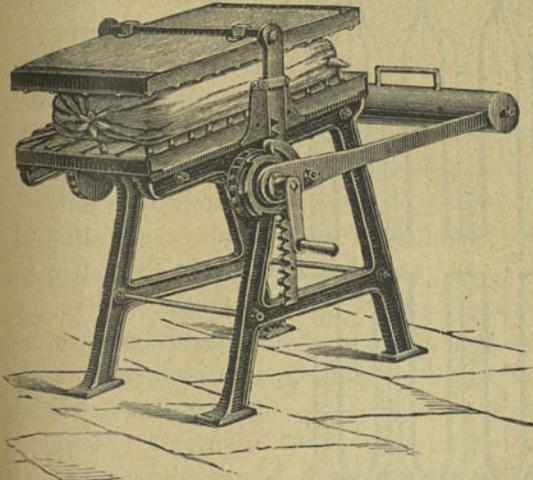


Fig. 270. — Presse à levier perfectionnée (Lion Levy).

on emploie deux sortes de filtres-presses, ceux sans cadres et ceux avec cadres intermédiaires. Les filtres-presses sans cadres se composent d'un certain nombre de plateaux excavés sur leurs deux faces et serrés les uns contre les autres entre les 2 flasques d'un bâti rectangulaire.

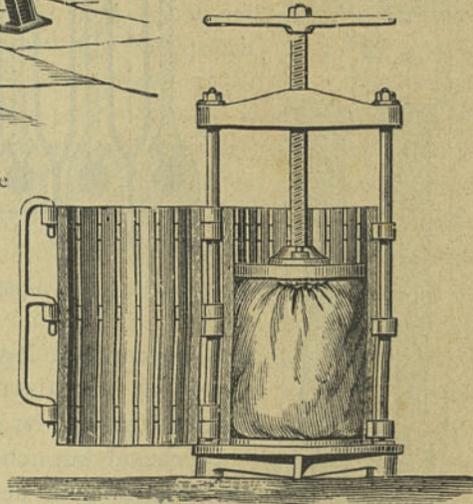


Fig. 269. — Presse à vis (Lion Levy).

Les deux plateaux terminaux ne sont excavés que sur une de leurs faces. L'un de ces plateaux est fixe : il est venu de fonte avec l'une des flasques du bâti ou boulonné sur elle ; l'autre plateau terminal est mobile.

Le plateau fixe est percé d'un trou central muni d'une tubulure à bride sur laquelle se fixe le tuyau d'alimentation, et de deux trous latéraux dans lesquels se fixent des boulons entretoises qui le réunissent à la flasque opposée. Le plateau terminal mobile ne porte que deux trous latéraux dans lesquels passent les entretoises.

Les plateaux portent des oreilles par lesquelles ils reposent

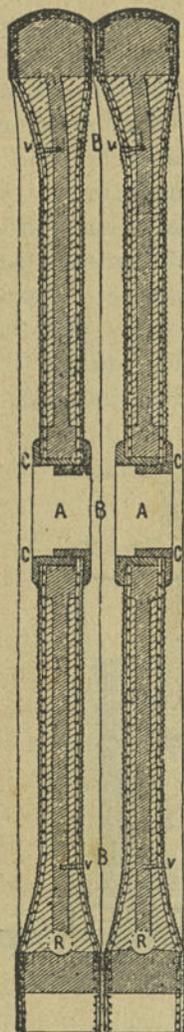


Fig. 271. — Coupe des plateaux.

tés, tandis que la partie intérieure plus mince, l'âme du plateau, porte des cannelures verticales et est percée d'un gros trou central AA.

Fréquemment au lieu d'appliquer directement la toile sur l'âme du plateau, on garnit celle-ci d'une tôle perforée fixée par

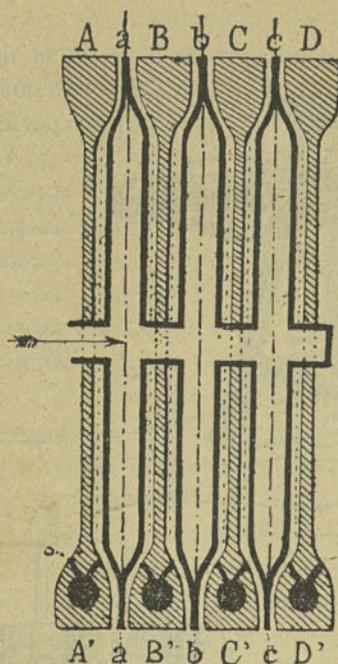


Fig. 272. — Schéma d'un filtre-pressé.

Le liquide filtré s'écoule par de petits trous oo dans un canal R logé dans la partie inférieure du plateau et aboutissant à un robinet fixé sur le plateau (fig. 271, 272, 273).

A cheval sur chaque plateau se trouve posée une toile portant des trous correspondant à l'orifice central du cadre. Les toiles sont fixées à l'endroit de cet orifice au moyen de deux bagues en bronze file-

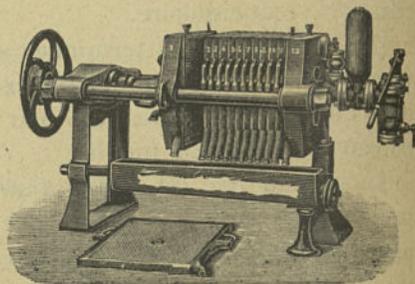


Fig. 273. — Filtre-pressé sans cadres.

des vis vv sur une portée que

présentent les rebords. Cette disposition diminue la tension de la toile et par suite son usure, et elle permet au liquide un écoulement plus facile le long des cannelures; par contre, elle a l'inconvénient de diminuer l'épaisseur des tourteaux et par suite d'obliger à *débatir* plus souvent. Le nettoyage est aussi plus difficile.

Les gros traits noirs du schéma ABCD A'B'C'D' indiquent le tissu filtrant; les traits pointillés indiquent la carcasse qui maintient la chausse et empêche sa déformation. Enfin la partie couverte de hachures //// représente une enveloppe rigide qui sépare chaque chausse, opère, par la juxtaposition de ses bords, une jonction étanche des deux parties de la chausse et sert de récipient pour recevoir le liquide clarifié. Le liquide à clarifier arrivant sous pression, soit d'un réservoir supérieur, soit d'une pompe, soit d'un monte-jus, dans le sens de la flèche, remplit successivement toutes les chausse qui sont en communication par le centre. La pression applique les tissus filtrants contre leur enveloppe perméable, la partie claire filtre, coule le long des séparations et vient par les orifices *o, o*, se rassembler dans le canal collecteur R ménagé dans ces séparations. De là, il s'écoule en dehors. Pendant ce temps, la matière solide remplit toutes les chausse, s'y accumule, s'agglomère par la pression du liquide et finit par obstruer complètement le passage de celui-ci. Le filtre-presse cesse alors de débiter. Il faut le nettoyer. Pour cela il suffit d'écarter successivement tous les cadres de manière à séparer chacune des moitiés des poches filtrantes, la matière solide qui s'y est accumulée sous forme de galette, de *tourteau*, se détache d'elle-même et tombe. Lorsque l'on a vidé tous les compartiments, il suffit de rapprocher les cadres et le filtre est prêt à fonctionner de nouveau.

Dans les filtres-presses à cadres, entre deux plateaux pleins consécutifs se trouve un châssis métallique (fig. 272) formant avec les plateaux pleins des compartiments *b* dans lesquels la matière vient produire des tourteaux d'une grande épaisseur. Dans ce cas l'alimentation, au lieu de se trouver au centre, est reportée sur l'un des côtés du cadre, soit en haut *O*, soit en bas, soit à droite, soit à gauche. Il y a donc dans l'épaisseur de chaque cadre un trou horizontal communiquant avec l'intérieur du cadre par un petit orifice vertical (voir la flèche dans la coupe *a b*). Les plateaux pleins présentent chacun un trou horizontal percé au même endroit pour compléter le canal d'alimentation. Les toiles sont placées à cheval sur les cadres.

Dans les presses sans cadres, les plateaux sont complètement recouverts par la toile: l'entretien en état de propreté est donc plus facile, parce que les plateaux ne sont mis en contact qu'avec le liquide qui s'écoule et non avec la levure, et que le joint, *toile*

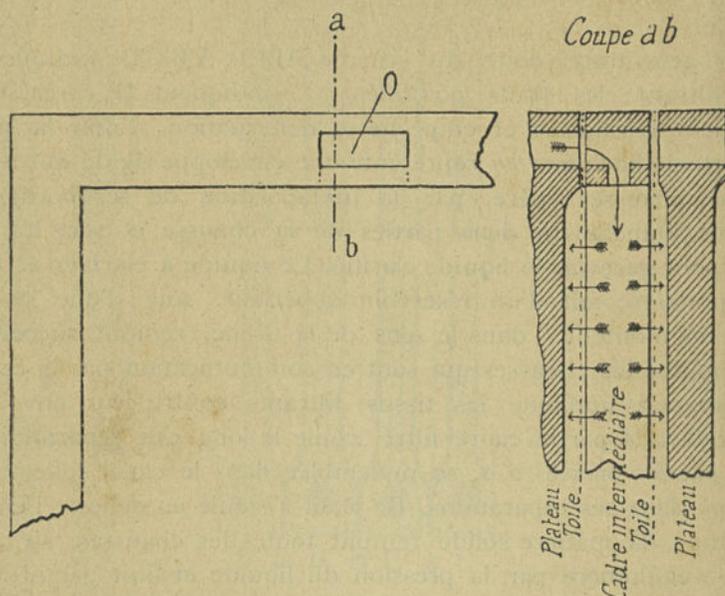


Fig. 274. — Schéma du filtre-pressé à cadres.

contre *toile* (a, b, c, fig. 272), est meilleur que dans les presses à cadres où les écumes remplissent les cadres et les conduits et où le joint est fait entre la *toile* et le fer. Pour cette dernière raison, c'est toujours le filtre-pressé sans cadres qu'il faut employer pour la levure (Voir aussi les figures 276, 277 et 278).

Empaquetage de la levure.

502. En attendant l'emballage en sacs ou en briquettes, il faut avoir soin de tasser la levure très fortement dans des cuvelles. Pour cela, on la fait piétiner par couches de 4 à 5 cm., par un homme muni de sabots spéciaux (sans talons), et on arrose fortement la couche supérieure. Si la partie supérieure n'était pas suffisamment arrosée, il y aurait *auto-combustion* de la levure, et la température dans la cuvelle pourrait monter à 50 et même 55° C. Une levure ainsi échauffée a perdu presque toute sa force.

Examinée au microscope, à la teinture d'iode, elle ne donne plus la réaction du glycogène (coloration rouge d'Errera).

L'emballage définitif se fait en France au moyen de la machine à briquettes (fig. 275) qui donne des paquets de 1/4, 1/2 et 1 k. lesquels sont emballés dans deux papiers dont l'un est du papier parcheminé et l'autre un papier plus résistant.

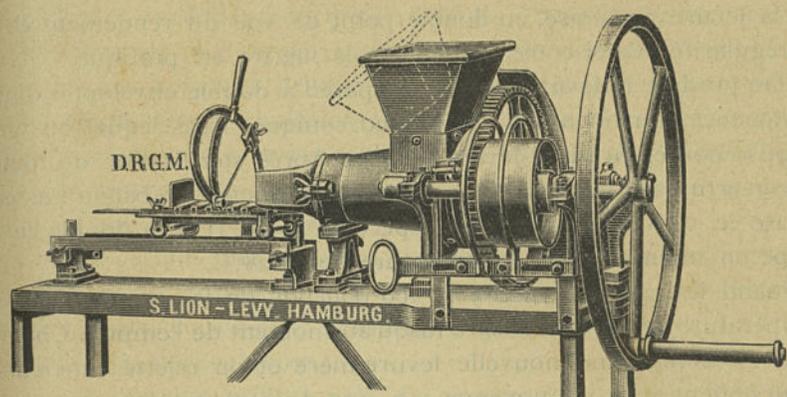


Fig. 275. — Machine à briquettes.

La qualité du premier papier a une grande influence sur la conservation de la levure. D'abord il faut que le papier ne soit pas trop encollé pour permettre la dessiccation progressive de la levure. Si, au contraire, on emploie du papier d'étain, ou du papier paraffiné comme première enveloppe, on constate que sur la levure, qui se trouve ainsi dans une chambre humide où la dessiccation superficielle est impossible, les moisissures apparaissent beaucoup plus vite.

Quant à l'emballage en sacs, il se fait en tassant progressivement la levure, dans un sac en toile assez serrée, avec le poing : on le met ensuite dans une presse verticale (fig. 269) et l'on serre jusqu'à ce que la levure commence à passer par les trous de la toile ; on coud très serré la partie supérieure du sac, et on le plonge dans l'eau durant une demi-seconde pour humecter la surface de la levure et en empêcher l'échauffement.

En Angleterre on se sert de sacs plats qui sont cousus avant pression. Mais il faut pour ces sacs à grande surface un peu plus d'humidité que pour les sacs ronds.

Emploi de la levure pure pour la fabrication de la levure viennoise

503. L'emploi de la levure pure, qui permet le choix d'une race ayant des caractères tout à fait appropriés au genre de fermentation que l'on veut obtenir, a donné d'excellents résultats dans la fabrication de la levure viennoise, au double point de vue du rendement et de la régularité. Voici comment il faut la mettre en pratique.

On produit la levure dans un appareil à double enveloppe d'une contenance d'environ 2 h. 1/2 à fond conique, dans lequel on met, jusqu'à moitié, du moût-levain acidifié. Après stérilisation de toutes les ouvertures et du moût lui-même, onensemence un ballon Pasteur de 250 cc. contenant une seule espèce de levure. Par la double enveloppe on maintient une température de 27-28° C.

Quand le liquide accuse 5 p. 100 d'alcool, on le refroidit à basse température et on le conserve jusqu'au moment de l'emploi. Chaque appareil donne une nouvelle levure-mère et on rejette l'ancienne.

On obtient ainsi en moyenne 1 p. 100 d'alcool en plus, et on évite les accidents.

Traitement de la vinasse

504. La drêche sortant des colonnes est réunie dans de grands réservoirs en bois épais placés sous un hangar. Elle est ensuite traitée de façon différente suivant qu'elle rentre dans le travail ou qu'elle est livrée aux agriculteurs.

La vinasse destinée à rentrer dans le travail ne doit provenir que de cuves ayant donné une bonne fermentation. Les eaux de lavages de la levure, qui renferment encore 1 p. 100 d'alcool, contiennent toujours beaucoup de bactéries; pour cette raison elles doivent toujours être distillées à part. Quand une colonne a servi à distiller ces eaux et sert ensuite à distiller du vin, on ne doit recueillir la vinasse que quand la colonne est suffisamment purgée. De même on ne doit pas prendre de vinasse provenant des cuves où l'on a vidé les drèches de tamisage.

Dans les réservoirs la vinasse se sépare en deux couches; la drêche gagne le fond et un liquide clair d'une nuance plus ou moins brune surnage. La séparation se fait d'autant mieux que le travail est meilleur. La vinasse des cuves acidifiées par l'acide sulfurique ne se clarifie jamais aussi bien que celle provenant de cuves acidi-

fiées par la fermentation lactique, parce que, avec l'acide sulfurique, le moût reste plus visqueux ; pour la même raison le maïs donne une meilleure clarification que le seigle.

La vinasse coule directement des colonnes dans les réservoirs, ou elle y est refoulée par des monte-jus. Dans ceux-ci on lui fait souvent subir une cuisson dans le but de la stériliser et de faciliter sa clarification. Mais beaucoup de fabricants ne cuisent pas et obtiennent cependant de bons résultats. Dans ce cas on maintient la vinasse très chaude par un barbotage de vapeur. On dit qu'avec les anciens appareils de distillation discontinue (de Pistorius), par suite de la longue ébullition en chaudière, la vinasse était toujours stérile, tandis qu'avec les appareils continus employés actuellement la stérilisation est incomplète, le moût n'étant que très peu de temps exposé à la température de 100°.

Il est certain que quand la vinasse est faiblement acide, la stérilisation dans la colonne doit être imparfaite, mais quand l'acidité est normale, c'est-à-dire d'environ 1 gr. 5 par litre en $S O^4 H^2$, la vinasse est stérile à 100°.

Pour pouvoir utiliser plus de vinasse, on cherche à avoir un liquide qui se sépare bien et qu'on puisse décanter jusqu'au trouble. Quand le maïs n'est pas cuit sous pression il reste plus d'amidon de maïs non attaqué ; la farine se déposant moins bien que les grosses pailles, la drêche se sépare moins facilement et la clarification est plus difficile. Pour avoir plus de clairs, on soumet les vinasses à une cuisson sous pression durant un quart d'heure à vingt minutes. Cette pratique présente d'abord l'inconvénient de consommer la vapeur, puis elle brunit le moût en faisant passer à l'état soluble une partie de l'insoluble qui ne peut plus être vendu comme drêche si on fait des égouttages, mais qui, par contre, est récupérée, si on ne fait passer à la pression que ce qui est nécessaire pour le travail.

Si on se sert de monte-jus, il en faut deux, l'un étant vidé pendant que l'autre est en emplissage. On a essayé de clarifier la vinasse par des moyens mécaniques, mais, par suite de sa viscosité, aucun procédé n'a réussi.

Une fois que la vinasse a été abandonnée à la clarification durant 12 à 14 heures et s'est aussi bien clarifiée que possible, on soutire la partie claire dans d'autres cuves dites *cuves à clairs*, où elle reste jusqu'au moment de la refroidir.

La décantation des clairs se fait au moyen d'un tuyau à genouillère qu'on rabat progressivement en prenant soin de ne rien

entraîner, surtout au moment où on atteint la couche de levure qui surnage la couche de drêche.

Au moment d'employer la vinasse on la refroidit, aussi rapidement et aussi fortement que possible, en la passant sur un réfrigérant à ruissellement genre Lawrence (p. 218).

Exemple d'une méthode de travail par le malt vert

505. Nous prendrons le cas d'une distillerie transformée en fabrique de levure. Les cuves sont grandes, elles ont 100 hectos.

Levains. — Pour chaque cuve on prépare un levain avec 150 k. de seigle moulu depuis au moins huit jours. On saccharifie une heure et demie à 63° C et une heure à 65° C pour antiseptier. Le moût accusant un volume de 4 hectos, on le refroidit en quarante minutes de 45 à 17° C. Onensemence ensuite avec un quart de son volume de levure-mère ayant 17 à 18 heures d'âge et refroidie à 11-12° C.

Moût principal. — On prend un tiers de maïs, un tiers de seigle et un tiers de malt vert.

Le maïs est cuit à air libre ou sous pression. Dans le premier cas on emploie quatre parties d'eau dans un malaxeur en forme de pétrin. On opère à l'ébullition ou simplement à 95° C; dans ce dernier cas on ajoute 1 à 2 p. 100 de malt. La cuisson dure de 2 h. 1/4 à 2 h. 1/2.

L'empois du cuiseur doit être bien divisé.

Le seigle moulu est hydraté et débattu une heure d'avance avec une eau à la température la plus basse possible; on fait une pâte très liante pour éviter les grumeaux. Le malt vert est d'abord additionné de très peu d'eau pour que le broyeur (moulin Bohm, moulin Gruson, etc.) travaille bien.

La saccharification dure 1 h. 1/2 à une température d'au moins 61° C.

CHAPITRE XXVII

Fabrication de l'aérolevure pressée

(Levure de moût clair avec aération)

506. Nous avons vu que l'aération augmente la production de la levure au détriment du rendement en alcool. Hayduck remarqua qu'en injectant de l'air dans un moût clair de malt et d'orge, en fermentation, on pouvait tripler la production de levure. De cette observation naquit un nouveau procédé de fabrication qui fut d'abord appliqué en Suède par Brems; celui-ci l'importa en Allemagne, et différentes usines l'installèrent; mais la plupart furent bientôt obligées de l'abandonner, parce que la levure ne se conservait pas. Actuellement l'*aérolevure pressée* est l'objet d'une fabrication assez répandue en Allemagne et qui semble donner des résultats assez satisfaisants; toutefois ce procédé n'a pu jusqu'ici supplanter l'ancien procédé à moûts troubles, qui, quoique absolument empirique, est celui qui donne la meilleure levure.

Si, dans l'ancien procédé, le moût est trop visqueux ou pas assez, s'il est trop ou insuffisamment acidé, si la levure-mère a été prélevée trop tôt ou trop tard, si le levain n'a pas été ajouté au moût exactement à la température qu'avait ce dernier, la levure ne monte pas bien et le rendement est faible. C'est ce qui fait que, même dans un travail fort soigné, les rendements varient d'une cuve à l'autre.

Le ramassage dure environ 8 heures, et la température est de 28 à 30° C environ. Cette longue agitation à la surface d'un liquide alcoolique chaud, occasionne inévitablement une forte déperdition d'alcool. En outre, on enlève en même temps que la levure une assez grande quantité de moût, dont le sucre échappe à la fermentation alcoolique et occasionne des fermentations bactériennes dans les bacs de lavage.

« Cette dernière opération, dit M. Duclaux, semble de toutes la plus défectueuse. Au point de vue de l'aération, elle ne s'éloigne pas notablement des conditions de fabrication des bières françaises par fermentation haute en tonneaux, si même elle ne leur est pas

inférieure (1). La levure n'a pas à sa disposition assez d'oxygène pour pousser activement. Il est vrai qu'elle transforme en alcool le sucre qu'elle ne consomme pas directement, et que cet alcool a une valeur. Mais en admettant que cette valeur soit supérieure à celle de la levure, le fabricant a évidemment intérêt à choisir et à devenir fabricant de levure ou fabricant d'alcool, suivant ce qu'il y trouve de bénéfiques. S'il choisit d'être fabricant de levure, il faut qu'il se mette dans des conditions telles qu'il obtienne le maximum de rendement en levure, en se contentant du minimum du rendement d'alcool, puisque les résultats de la grande pratique, d'accord avec ceux de la théorie, montrent que ces deux fabrications sont exclusives l'une de l'autre.

Pour cela, il y a évidemment intérêt à faire des cultures, non en profondeur, dans un vase de fermentation, comme dans le procédé viennois, mais dans des cuvettes plates à très grande surface ou même dans des tonneaux tournant autour de leur axe, de façon à multiplier autant que possible, le contact fécond de la levure du sucre et de l'air. Tout changement dans cette direction serait nécessairement accompagné d'une augmentation notable dans le rendement en levure ».

Le travail par la méthode viennoise exige aussi un long tamisage, opération fort incommode et désagréable, durant laquelle il est impossible d'éviter les contaminations.

Dans la fabrication de l'*aérolevure pressée*, on opère comme on le fait dans les laboratoires de microbiologie pour la préparation de la levure pure, c'est-à-dire que l'on prépare un moût clair dans lequel on injecte de l'air pendant la fermentation. L'injection d'air remplace l'aération par surface qu'obtenait Pasteur dans ses vases plats. Mais on ne stérilise pas comme on le fait pour la levure pure, car l'amylose doit rester en présence pour achever la fermentation.

Matières premières employées

507. On emploie les mêmes matières premières que dans la méthode viennoise, mais comme il faut séparer le moût clair de la drêche,

(1) Ce n'est pas précisément exact. La fermentation se fait à une température beaucoup plus élevée qu'en brasserie, et on l'arrête brusquement par dilution du moût et par refroidissement, tandis qu'en brasserie elle se continue à la même température en présence d'une quantité limitée de nourriture, d'où résulte l'involution dont nous avons déjà parlé.

on est forcé d'employer une forte proportion de malt dont la paille fait l'office de matière filtrante. La proportion des matières autres que le malt étant faible, les combinaisons de mélanges de celles-ci ne présentent pas grande importance, surtout que la constitution physique du moût n'a pas ici la même influence sur le rendement.

On emploie généralement le malt d'orge, le froment (le plus souvent malté) et le seigle.

Le maïs est assez rarement utilisé, parce qu'il exige un long travail de préparation. On l'emploie en partie sous forme de malt. Dans ces derniers temps on l'a cuit en grains entiers sous pression et on en a eu de bons résultats.

Trempage des matières premières

308. Les matières premières non maltées sont, avant saccharification, soumises à un trempage ou mouillage ayant pour but de faciliter leur broyage. Si on les broyait directement à l'état sec, les fines particules de farine rendraient la filtration difficile sinon impossible. Pour la filtration aux filtres-presses, les matières premières peuvent être égrugées ou grossièrement moulues, mais dans la filtration par four fond, la paille doit être abimée le moins possible pour donner une matière filtrante très poreuse et, par conséquent, il faut simplement broyer la matière première.

Le trempage du seigle et du froment non germés se fait comme suit : quatre jours avant la saccharification, on verse le grain dans de l'eau à une température maxima de 17° C. On enlève les impuretés qui flottent sur l'eau. Après 17 à 20 heures de mouillage, on fait écouler l'eau, on enlève le grain et on l'étale en couches où il reste une trentaine d'heures. Au bout de ce temps le grain *pointe*, c'est-à-dire qu'un commencement de germination se manifeste. Il se produit une légère désagrégation. En même temps le grain se dessèche; s'il devient trop sec, on l'arrose un peu.

Le maïs non malté est moulu comme dans l'ancien procédé, mais pas trop fin, sans quoi la filtration serait difficile. On le cuit ensuite à l'air libre ou sous pression.

Broyage

309. Le broyage des matières trempées se fait par les broyeurs ou écraseurs de malt vert, dont on écarte suffisamment les rouleaux

pour ne pas déchirer les pailles, tout en observant le parallélisme des cylindres broyeur. Les appareils à lait de malt ne peuvent pas servir ici, parce qu'ils abiment trop les pailles.

Empâtage

310. On ajoute à la matière broyée de l'eau additionnée d'un peu d'acide : 200 à 250 l. d'eau à une température maxima de 15 à 18° C. Par 1.000 kilos de matière première on ajoute environ 400 cc. d'acide sulfurique et 400 cc. d'acide chlorhydrique. Ce mélange donne de meilleurs résultats que l'emploi d'un seul acide.

Pour l'empâtage on emploie des cuves rondes ou ovales en bois, de dimensions assez restreintes, parce que l'agitation se fait à l'aide de fourquets manœuvrés à la main. L'emploi du fer donnerait de la levure grise.

Les cuves d'empâtage sont placées au-dessus du macérateur et aussi près que possible de celui-ci. Elles portent des trous de vidange d'au moins 250 mm. fermés par des tampons en bois.

La matière empâtée accuse une acidité de 0,07. $\text{S O}^4 \text{H}^2$ par litre.

On abandonne le tout pendant 12 à 16 heures.

L'action de l'acide dans cette pratique n'est pas bien élucidée au point de vue chimique ; d'après les observations pratiques, il se produit un amollissement intense de la matière première, qui facilite beaucoup l'extraction lors de la macération. L'acide a surtout pour but d'empêcher le développement des microparasites nuisibles qui accompagnent la matière première ; toutefois il agit aussi en relâchant les tissus cellulaires de celle-ci.

Les matières broyées qui, au début du trempage, se tenaient au fond des cuves, gonflent et deviennent plus légères ; finalement toutes les enveloppes viennent former à la surface une couche presque impénétrable. Toutes les heures on remue pour mélanger le tout.

Saccharification

311. La saccharification se fait le mieux dans des cuves-matières en bois, le fer étant attaqué par l'acide du moût.

Pour 100 kilos de matières premières, la cuve à saccharification doit avoir 5 h. 5 de capacité.

L'agitateur étant en mouvement, on laisse couler dans le macé-

rateur la matière empâtée et, en injectant lentement de la vapeur, on élève la température à 50-52° C. On abandonne le tout durant une demi heure à trois-quarts d'heure à cette température, la plus favorable à la dissolution des matières azotées solubles, puis on monte lentement à 61-64° C.

Si on emploie du maïs non malté on le cuit à l'air libre ou sous une pression de 1 à 1 k. 5 et on l'ajoute au moût qui a séjourné un peu de temps à 50-52° C.

Le travail du macérateur est ici beaucoup plus simple que dans l'ancien procédé, puisqu'il ne s'agit que de mélanger les matières préalablement soumises à l'empâtage ; il n'exige donc pas beaucoup de force et pas d'agitateurs compliqués.

Soutirage au clair

512. Après la saccharification on procède à la filtration. Celle-ci se fait de deux manières différentes, par la *cuve à faux-fond* ou par les *filtres-presses*.

Dans le premier système, comme le moût reste longtemps exposé dans la cuve à faux-fond, à la température de saccharification, il est inutile de prolonger le séjour dans la cuve de macération ; on peut donc laisser couler ou pomper immédiatement, au plus tard au bout d'une demi-heure, le moût trouble dans la cuve de filtration.

Dans le cas de l'emploi des filtres-presses, on laisse le moût se saccharifier durant deux heures dans le macérateur. Si on se sert de la cuve à faux-fond, on pompe rapidement le moût trouble, au moyen d'une pompe à piston ou d'une pompe centrifuge, dans la cuve à filtrer préalablement réchauffée ou même stérilisée par la vapeur. On couvre cette cuve et on l'abandonne durant 1 h. 1/2 à 61-62° C ; puis on *soutire au clair*.

Au début de la fabrication de l'aérolevure pressée, on ne connaissait que la filtration sur faux-fond. Comme celle-ci est une opération longue et pénible, on eut recours aux filtres-presses, que l'on ne tarda pas à abandonner, parce que la filtration était défec-tueuse.

Les cuves de filtration sont en bois et de forme ronde ; à une petite distance du fond elles sont munies d'un faux-fond analogue

(1) *Otto Durst Handbuch der Presshefefabrikation.*

à celui usité en brasserie. A leur partie supérieure elles portent une croix écossaise pour le lavage des drèches. C'est un récipient circulaire (fig. 276) monté sur un petit rail à galets très mobiles, et placé autour de l'arbre de la cuve à filtrer ; trois branches perforées, adaptées sur le récipient, laissent couler l'eau, et cette dernière, par réaction, imprime à l'ensemble un mouvement de rotation qui arrose régulièrement toute la surface de la drèche.

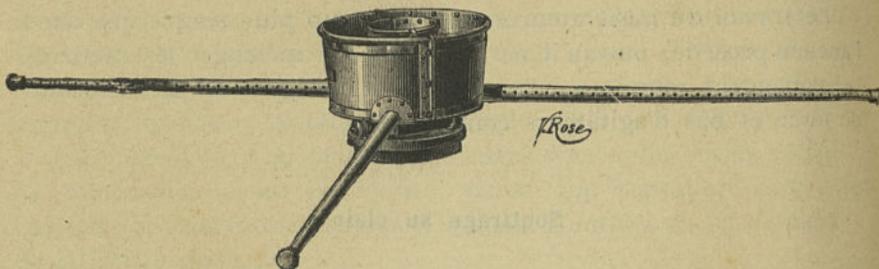


Fig. 276. — Croix écossaise (construction Th. Cambier).

L'eau, plus légère, déplace le jus et le chasse vers la partie inférieure d'où il s'écoule par des tuyaux de soutirage. Ce petit appareil peut être également soutenu par un pivot terminant la partie supérieure de l'arbre de la cuve.

Le diamètre de la cuve à faux-fond doit être assez grand pour offrir une grande surface à la filtration, sans cependant diminuer la hauteur de la drèche au point d'avoir un liquide trouble.

Par les tuyaux de soutirage munis de robinets, le liquide s'écoule dans le *reverdoir*. Les premières parties étant troubles, on les reverse dans la cuve.

Quand le liquide est presque complètement écoulé, il menace de couler trouble. On ferme alors les robinets, on arrose à la *croix écossaise* et on soutire à nouveau. Le premier moût clair marque de 12 à 13 Bg.

La fig. 277 représente une cuve matière servant à la fois à la saccharification et à la filtration ; la partie pointillée constitue le faux-fond perforé. L'arbre horizontal porte des fourquets qui produisent une agitation énergique. Il y a quatre robinets de soutirage qu'on aperçoit en avant de la cuve au-dessus du *reverdoir*.

Quand on travaille avec les filtres-presses, on laisse le moût se saccharifier durant deux heures dans le macérateur, puis, au moyen d'une pompe à pression, on refoule aux filtres. On renvoie au macérateur les premières parties qui sont troubles.

Chaque fois qu'elles ont servi, les toiles doivent être nettoyées, puis trempées dans l'eau en ébullition, et enfin séchées dans un endroit à l'abri des poussières.

Ces appareils donnent une filtration beaucoup plus rapide, mais ils présentent les inconvénients suivants : 1° on use beaucoup de toiles ; 2° si une de celles-ci se déchire, tout est à recommencer ; 3° l'épuisement est incomplet.

Quelques usines suivent un procédé mixte : elles filtrent sur faux-fond le moût de seigle et de malt vert, et saccharifient à part le maïs dont le moût est passé aux filtres-presses. Ce procédé n'est avantageux

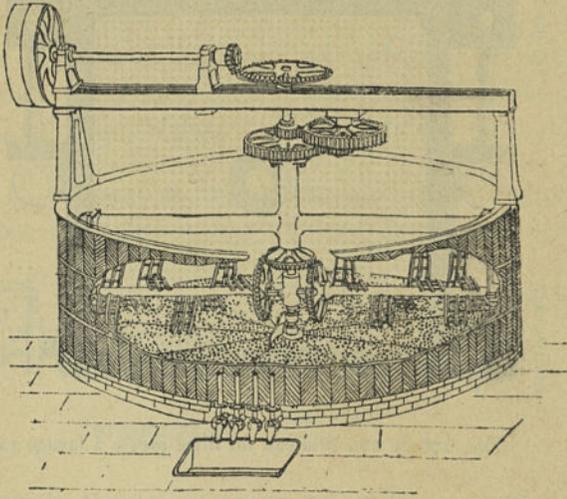


Fig. 277. — Cuve-matière pour le travail des farines à moût clair (Th. Cambier et Cie).

que quand on utilise beaucoup de maïs moulu non malté.

Les filtres-presses doivent être à lavage dit *absolu* ; ils portent en outre une prise de vapeur directe pour pouvoir les stériliser commodément avant la filtration.

Un excellent filtre-pressé à lavage est celui de Wauquier. Dans ce système, dit *rationnel* (fig. 278-279-280), la première partie du lavage, ou plutôt le remplissage du filtre-pressé par l'eau de lavage, se fait de bas en haut, de façon à chasser complètement l'air. Cela correspond au meillage des diffuseurs (173, p. 151). Le passage de l'eau à travers les tourteaux ne peut s'effectuer que si tout l'air a été enlevé des cadres, et, comme l'air, plus léger, se cantonne à la partie supérieure, il est absolument nécessaire de chasser cet air par la circulation de l'eau de bas en haut. La deuxième partie de l'opération, ou lavage proprement dit, s'effectue de haut en bas ; la circulation de l'eau de lavage se fait ainsi, suivant l'ordre des densités (comme dans la batterie de diffusion), et le petit jus, plus dense que l'eau, sort à la partie inférieure.

L'opération de pression étant terminée, c'est-à-dire le filtre-

presse étant plein de drèche, et les robinets C et L ne coulant presque plus, on ferme la soupape d'entrée de moût E et les robinets C et L.

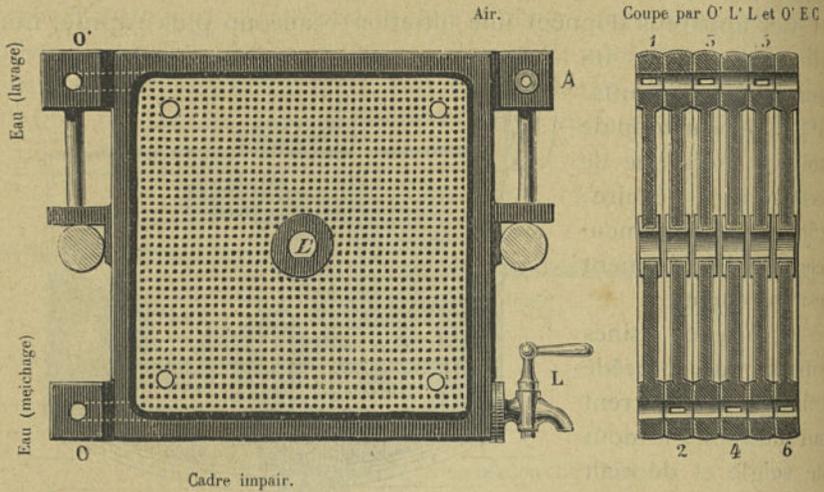


Fig. 278 et 279 (Plateau du filtre-presse à lavage rationnel de Wauquier).

Pour meicher, on ouvre le robinet d'entrée d'eau inférieur O, ainsi que les robinets d'air A et A, et, lorsque ces derniers laissent couler du jus, on ferme les trois robinets O, A et A.

Le lavage descendant se fait alors en ouvrant le robinet d'entrée d'eau supérieur O' et les robinets d'écoulement C des cadres pairs, ceux L des cadres impairs restant fermés.

L'eau qui entre par O' aux cadres impairs, traverse les tourteaux formés entre les plateaux pairs et impairs et sort, après avoir lavé ces tourteaux, par les robinets C des cadres pairs.

L'eau servant au lavage de la drèche doit avoir, autant que

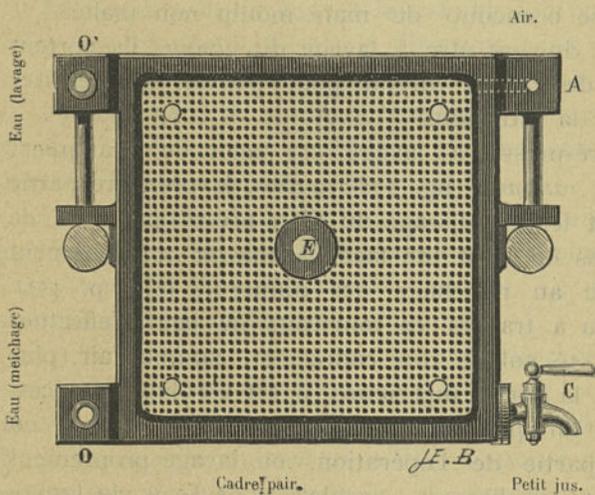


Fig. 280.

possible, la température du moût, pour rendre le déplacement du jus sucré plus facile et permettre l'enlèvement des matières solubles non encore dissoutes. Si l'on craint de diluer par trop son moût par l'addition d'une trop grande quantité de petits jus, on peut se servir de ceux-ci à l'empâtage de l'opération suivante, après leur avoir fait subir l'ébullition.

L'épuisement dans la cuve à faux-fond se fait avec de l'eau à 75° C. Pour 1.000 kilos de grains on jette six petites trempes de 7 à 8 hectos. Aussitôt que la drèche est découverte on jette une nouvelle trempe.

L'écoulement de la trempe de saccharification dure environ deux heures pour 1.000 kilos ; celui des trempes de lavage prend environ trois heures.

Le moût bien clair est refroidi à 24-25° C ; on se sert avantageusement d'un réfrigérant à ruissellement genre Lawrence (217).

Fermentation

313. *Fermentation du moût clair.*— Les cuves à fermentation doivent avoir au moins 1.500 à 1.750 litres de capacité par 1.000 litres de moût. Par suite de l'aération, il se produit une énorme quantité de mousse. On donne souvent aux cuves une capacité double du volume du moût, et elles menacent encore parfois de déborder : on ajoute, dans ce cas, un peu de graisse fondue pour abattre les mousses. Le diamètre des cuves est généralement environ les deux tiers de la hauteur.

Le mieux est de mettre le réfrigérant à moût dans les cuves à fermenter, de sorte que l'on peut également refroidir pendant la fermentation, dans le cas où le moût atteindrait une température trop élevée. C'est généralement un serpentin placé aux deux tiers de la hauteur du moût et arrangé pour que l'on puisse y faire passer également de l'eau chaude pour réchauffer le moût s'il se refroidissait par trop par l'air extérieur.

Pour répartir l'air bien uniformément, on munit les cuves d'un double fond percé d'un grand nombre de petits trous, ou d'un système de tuyaux perforés disposé à 5 centimètres du fond des cuves et composé d'une étoile de huit à douze bras. Ces trous doivent être dirigés vers le bas ; ils ont généralement 1 millimètre de diamètre ; la somme de leurs sections doit être au moins égale à celle du tuyau adducteur d'air.

L'injection d'air comprimé se fait au moyen de compresseurs et, dans les grands établissements, d'exhausteurs. Ces machines doivent pouvoir fournir 12 à 13 mètres cubes d'air par heure et par 1.000 litres de moût à travailler. Pour pouvoir modérer commodément l'arrivée de l'air à volonté, les tuyaux d'adduction sont munis de soupapes de sûreté pour l'échappement du gaz en excès. Le tuyau qui prend l'air dans l'atmosphère débouche au-dessus du toit du bâtiment; un filtre le débarrasse de tous ses germes avant son entrée dans le compresseur.

Aussitôt que la cuve est aux deux tiers pleine, on met le moût clair en fermentation avec de la levure pressée viennoise (1). On emploie généralement 2 à 3 kil. de levure pressée ou 3 à 4 l. de levure en pâte par 100 kil. de matières premières.

Les moûts ont 8 à 10° Balling. On met en fermentation à 22-24° c.; la température pendant toute la durée de l'opération doit être maintenue entre 26 à 30° c.

Immédiatement après la mise en levure, on commence l'aération. On aère d'abord très modérément, puis on augmente peu à peu la quantité d'air injecté pour arriver au maximum au moment où la production de la levure est le plus intense; on diminue ensuite l'accès de l'air et on continue d'en injecter une très petite quantité après que la multiplication des cellules a cessé.

On suit la production de la levure en prenant de temps en temps un échantillon dans une éprouvette en verre graduée et en observant la hauteur du dépôt qui se forme dans un certain temps.

Par suite de la température relativement élevée et de l'aération, la fermentation se met bien vite en train. A la surface du moût clair il se forme une mousse composée de grosses ou de petites bulles transparentes et qui augmente beaucoup de volume; le moût devient peu à peu opalin, finalement blanc et épais, présentant l'aspect de la crème fouettée. Il occupe alors toute la capacité de la cuve. Au moyen du réfrigérant, on empêche la température de monter au-dessus de 29-30° c.

La fermentation dure de sept à vingt heures; cette durée dépend de la température initiale, de la proportion de levure employée, de la nature de cette levure et de l'intensité de l'aération. D'après les expériences de Delbrück, il faut que la fermentation puisse toujours être terminée en sept heures.

(1) On ne peut employer ni levure-mère ni aérolevure provenant d'une opération précédente, à cause de la dégénérescence qui se produit.

Quand la fermentation est suffisamment avancée, que le moût ne marque plus que 1 à 2° au saccharomètre, on diminue l'arrivée de l'air et on met l'eau en plein dans le réfrigérant de la cuve pour refroidir aussi rapidement que possible à 15-18° C. et même à 10° C. dans d'autres usines, puis on pompe le moût dans les cuves ou bassins de dépôt. Ce sont des cuves plates de 30 à 35 cent. de hauteur, munies d'une conduite d'eau et d'un dispositif pour décanter l'eau. On peut installer deux ou quatre bassins l'un au-dessus de l'autre.

Séparation et traitement de la levure. — Aussitôt que la levure s'est déposée, on décante le moût fermenté surnageant et on le conduit dans un réservoir d'où on le prend pour le distiller. Quand le travail est bon, le vin ne marquerait que 0°,2 Balling après l'enlèvement de la levure.

Le dépôt de levure est ensuite soumis à deux ou trois lavages à l'eau suivant les exigences de la clientèle. Quand on a décanté la dernière eau, on envoie la pâte restante dans un réservoir où plonge le tuyau d'aspiration de la pompe qui la refoule aux filtres-presses. La pression et la mise en briquettes se font exactement comme dans l'ancien procédé de la *levure viennoise*.

Le turbinage est ici plus à recommander que pour l'ancien travail; on peut se passer complètement de bacs de dépôt.

Rendements. — Ce procédé donne généralement de 24 à 26 p. 100 de levure; on arriverait même, d'après des renseignements puisés à bonne source par Delbrück, au rendement énorme de 30 p. 100 de levure pure industrielle du poids de farine mis en œuvre. Mais ce chiffre n'est pas encore la limite extrême que l'on ne peut dépasser.

D'après Pasteur, quand on fait végéter la levure dans un moût suffisamment aéré pour empêcher toute formation d'alcool, on trouve que 100 grammes de sucre absorbés produisent 25 grammes de levure sèche. Comme la levure pressée du commerce renferme généralement 75 p. 100 d'eau, c'est en somme un rendement de 100 p. 100 de levure pressée ordinaire. Si la matière première renferme en moyenne 60 p. 100 d'amidon exprimé en sucre, le rendement théorique possible de cette matière première est 60 p. 100. On voit que nous sommes loin du rendement théorique, puisque la levure produite ne correspond qu'à la moitié du sucre qui lui est offert en alimentation. Mais on produit aussi de l'alcool. En admettant que 100 kilos de sucre produisent pratiquement

60 litres d'alcool, les 30 kilos de sucre non utilisés pour la formation de la levure devraient produire $30 \times 0,6 = 18$ litres d'alcool.

Pour plusieurs raisons, on n'arrive pas à produire à la fois 30 k. de levure et 18 litres d'alcool par 100 kilos de matières premières.

Il y a d'abord une perte à la saccharification. Avant l'introduction de la cuisson sous haute pression en distillerie, c'est-à-dire avec l'ancien travail des céréales en farine, il y avait toujours 8 à 10 p. 100 d'amidon non saccharifié. Aujourd'hui, on arrive à 2,5 p. 100 avec le maïs et à 3 ou 4 p. 100 avec le seigle; pour la pomme de terre, on perd en moyenne 1 p. 100 d'amidon. La cuisson sous haute pression n'étant guère employée dans la fabrication de la levure, on y saccharifie encore à peu près suivant l'ancienne méthode; aussi reste-t-il encore, après une bonne saccharification, 7 à 8 p. 100 d'amidon non dissous, tandis que, quand elle est mal conduite, il n'est pas rare qu'on en trouve encore 15 p. 100.

Il y a ensuite une perte résultant de ce qu'une certaine quantité de sucre échappe à la fermentation. Cette perte est d'autant plus grande que l'action complémentaire de la diastase est moins bonne. D'après Maercker, elle peut varier en distillerie de 4 à 12 p. 100. Comme dans la fabrication de la levure, cette action complémentaire est évidemment plus faible que dans le système actuel de travail en distillerie, nous pouvons admettre que la perte de 12 p. 100 résultant d'une fermentation incomplète est souvent atteinte.

En faisant la sommation de tous les chiffres précédents, on arrive à une perte totale de 15 à 20 p. 100 environ pour un travail bien mené. En admettant 20 p. 100, les rendements donnés ci-dessus deviennent $30 \times 0,8 = 24$ p. 100 de levure et $18 \times 0,8 = 14,4$ p. 100 d'alcool, qui sont les résultats les plus généralement obtenus.

On sait que l'ancien procédé donne de 8 à 12 p. 100 de levure et 26 à 29 p. 100 d'alcool.

L'insufflation d'air occasionne une perte en alcool d'autant plus importante que la température est plus élevée et qu'on en injecte davantage. Dans certaines circonstances, il peut aussi se produire une forte quantité d'aldéhyde et d'acide acétique, ce qui donne lieu à une nouvelle perte. Il faut avoir soin de n'injecter que la quantité d'air strictement nécessaire.

Avec ce nouveau procédé les frais de fabrication sont moins élevés, parce que le travail est plus simple et que les laborieuses manipulations du tamisage et du lavage sont facilement supprimées.

L'aérolevure renferme moins de bactéries que la levure pressée

ordinaire ; mais elle est plus lente à entrer en fermentation et se conserve moins bien.

En 1892, Delbrück a attiré l'attention sur la nécessité d'employer de la levure pure dans la fabrication de l'aérolevure pressée. L'aérolevure est, dans certaines circonstances, fortement souillée par le *Saccharomyces mycoderma* (fleurs du vin et de la bière, fig. 184), sorte de levure aérobie qui, quoiqu'elle puisse d'après les recherches les plus récentes, produire également la fermentation alcoolique, doit néanmoins être considérée comme un ennemi de premier ordre en distillerie. L'avantage qu'a l'aérolevure sur la levure pressée ordinaire de ne pas renfermer de bactéries est largement contrebalancé par l'inconvénient résultant de la présence du *S. mycoderma*.

D'après les méthodes ordinaires de fermentation, il est très difficile, sinon impossible, d'éviter la présence du *S. mycoderma* dans l'aérolevure. Ce champignon se rencontre partout dans la nature et, dès qu'il trouve l'occasion favorable, il se multiplie avec une rapidité qui tient quelquefois du prodige. Pendant les chaleurs de l'été, dit Pasteur, lorsque le milieu est très approprié à la vie de la plante, c'est par milliards qu'on compterait le nombre des cellules qui poussent dans l'intervalle de quelques heures.

Une fois l'infection produite dans les moûts qui servent à la fabrication de l'aérolevure, le *S. mycoderma* se multiplie très rapidement, car ce moût alcoolique fortement aéré est son milieu de prédilection. Au lieu de produire la fermentation alcoolique du sucre dans ces conditions de végétation aérobie, il attaque l'alcool qu'il transforme en acide acétique ou qu'il brûle directement en eau et en acide carbonique ; certaines espèces produisent, d'après Lindner, des éthers composés.

Pour combattre la production du *S. mycoderma* et des autres faux ferments dans la fabrication de l'aérolevure pressée, il faut :

- 1° Elever suffisamment la température pendant la saccharification pour tuer autant que possible les germes et les ferments provenant du grain cru, du malt et de l'eau ;
- 2° Maintenir la plus scrupuleuse propreté dans les conduites et les cuves de fermentation ;
- 3° Débarrasser l'air de tous ses germes en le faisant passer dans un filtre qui n'en laisse échapper aucun ;
- 4° Employer pour la mise en fermentation une levure physiologiquement pure, spécialement sélectionnée en vue de la fabrication de l'aérolevure pressée, par les méthodes de Pasteur et de

Hansen. Malheureusement la levure pure n'a pas réussi jusqu'ici et on est obligé d'ensemencer avec de la levure viennoise.

Nouvelle méthode hollandaise

514. Il y a quelques années on a essayé dans plusieurs usines françaises, sous le nom de procédé hollandais, un nouveau procédé à aérolevure. La saccharification se faisait avec une quantité énorme de malt et un peu de maïs, de façon à ne pas avoir un moût trop visqueux. La filtration se faisait au moyen de grands sacs : le liquide clair était envoyé à la fermentation et on ensemait chaque cuve avec de la levure viennoise. La partie solide séparée du liquide était fermentée à part. L'aération dans la portion claire devait être continue ; il se produisait une quantité énorme de mousse ; jusqu'à quatre fois la hauteur du liquide, et, avant que la fermentation fût complètement terminée, aux environs de 1,5 Balling, on arrêtait la fermentation en refroidissant le moût et le transvasant dans des bacs de dépôt. On décantait le plus rapidement possible le liquide et on lavait légèrement la levure qui se déposait le plus souvent sous la forme caillebotée. On peut obtenir par cette manière d'opérer de 18 à 22 kil. de levure par 100 kil. de grains, mais tous les fabricants français ont abandonné ce mode opératoire, parce que la levure ainsi produite laissait beaucoup à désirer au point de vue de la conservation. De grands ennuis sont occasionnés par la difficulté de conserver l'asepsie avant fermentation.

CHAPITRE XXVIII

Fermentation panaire

515. Puisque nous nous occupons de la fabrication de la levure de boulangerie, nous devons dire quelques mots de la fermentation panaire, question si longtemps controversée.

Certains auteurs ont admis que la fermentation panaire était une fermentation bactérienne. M. Léon Boutroux a montré qu'on trouvait toujours de la levure dans la pâte fermentée ; il en a conclu que la fermentation panaire est une fermentation alcoolique, non de

l'amidon, mais du sucre préexistant dans la farine. Cette fermentation empêche le développement des bactéries qui feraient aigrir la pâte.

La production de levure est incontestable, et il y a une expérience bien simple démontrant qu'il y a multiplication considérable de la levure dans le pain.

Prenons, en effet, deux échantillons de levure normale, mettons-les sous le microscope et comptons les cellules. Pour celle de brasserie on aura en moyenne sur 100 cellules trois ou quatre bourgeons, tandis que pour celle de distillerie on trouvera de 5 à 7 bourgeons. Faisons avec ces levures deux pâtes, et mettons à l'étuve à 30° C.

De quart d'heure en quart d'heure, sans déformer les patons, prenons avec un fil de platine une petite quantité de pâte grosse comme une tête d'épingle, et frottons ce fil dans une capsule de platine contenant un grand excès d'iode; nous aurons à l'extrémité du fil un petit morceau de gluten, et dans le liquide un excès d'amidon et de la levure.

Mélangions le tout et portons sous le microscope. Comptons les cellules cinq minutes après avoir terminé la pâte; on trouvera 15 p. 100 de cellules bourgeonnantes, et un quart d'heure après on trouvera 70 à 75 p. 100 de cellules bourgeonnantes pour la levure de grains et 80 à 90 p. 100 pour la levure de bière. Par conséquent, ces deux levures se comportent de même, quant à leur multiplication.

Et cette multiplication vient surtout de la vie aérobie de la levure qui s'empare de l'oxygène de la farine bien plus que du sucre qui n'existe qu'en petite quantité, mais qui peut prendre naissance par l'amylose.

Il se produit de l'alcool dans la fermentation panair, mais il y a toujours excès de l'acide carbonique sur l'alcool. Cette fermentation est donc surtout le résultat de la vie aérobie de la levure; cela n'a rien d'étonnant, car la farine est fortement aérée, et cette matière pulvérulente condense beaucoup de gaz.

Il ne saurait d'ailleurs y avoir correspondance entre l'acide carbonique produit et le sucre consommé, car on se trouve dans un cas d'involution par suite de la trop faible quantité de sucre existant par rapport à la levure.

**Perfectionnements dans la fabrication de la levure pressée par
l'ancien procédé dit Viennois (1)**

516. Il est bien rare que les progrès réalisés dans une industrie ne se fassent pas sentir dans une autre industrie similaire. C'est ainsi que l'apparition du procédé de l'aérolevure a fait introduire quelques perfectionnements dans l'ancien procédé de la levure viennoise.

Les principaux perfectionnements réalisés, ces dernières années, dans la fabrication de la levure pressée par le procédé Viennois, sont :

- 1° L'emploi de grains trempés à la place de grains moulus ;
- 2° L'emploi des dépeleurs-tamiseurs ;
- 3° Enfin, la mise en mouvement du moût au moyen de serpentins ou d'agitateurs.

Ce nouveau mode de travail du procédé Viennois nécessite quelques modifications de montage, que nous devons indiquer avant d'entrer dans les détails, d'un côté, pour faciliter la tâche de ceux qui veulent suivre le progrès et, de l'autre, pour donner aux constructeurs qui s'occupent de ce genre d'installation, les indications qui leur sont nécessaires pour les faire conformément au but à atteindre.

Pour le trempage des matières premières, tant du malt sec que du seigle et de toutes les autres céréales, il est nécessaire d'avoir des cuves à tremper séparées.

Dans les fabriques travaillant par grandes quantités, les bacs à tremper doivent être munis d'un réfrigérant pour empêcher l'échauffement spontané et l'acidification dans ces bacs, pendant les mois chauds de l'année ; les serpentins sont ce qu'il y a de préférable. Les bacs à tremper doivent être installés à l'étage supérieur de la distillerie, être peu profonds et être protégés contre les poussières ; une conduite d'eau doit se trouver tout près. Les trempoirs pour le seigle et le sarrasin seront munis d'un tuyau de vidange conduisant l'eau à l'extérieur. La vidange d'eau du trempoir de malt sec aboutit à la cuve-matière (macérateur), où l'eau de trempage est utilisée pour l'empâtage. Au même étage que les bacs à tremper ou à celui immédiatement en dessous, se trouve monté le concasseur de malt, de manière que l'on puisse

(1) Alkohol, Stenglein, 1896.

l'alimenter directement par le moyen d'une trémie. En sortant du concasseur, le grain tombe directement dans la cuve-matière. Le choix du système de cette cuve n'a pas d'importance dans le procédé viennois ; on peut employer des cuves à broyeur centrifuge aussi bien que des cuves en forme de pétrin.

Le moulin de Bohm (290, p. 333), bien connu, est depuis longtemps utilisé pour le broyage et le malaxage des matières pendant l'empâtage et la saccharification. Par suite de la modification consistant à remplacer les grains moulus par des grains trempés, modification que l'ancien procédé viennois a empruntée au nouveau travail à moût clair, dit de l'*aérolevure*, le broyeur Bohm a été chargé d'une tâche nouvelle ; par suite, l'attention des industriels a été de nouveau attirée sur ce précieux broyeur qui était, à juste titre, en ces derniers temps, plusieurs fois tombé dans l'oubli, à la suite de l'invention des macérateurs à broyeur.

On installe le moulin de Bohm à côté de la cuve-matière et un peu en contre-bas, en sorte que le moût épais sortant du macérateur coule de lui-même dans le broyeur qui le refoule à nouveau dans le macérateur. Le tuyau de conduite du moût saccharifié qui, jusqu'ici, se rendait directement du macérateur aux cuves à fermenter, se trouve coupé en un endroit où l'on intercale le dépeleur-tamiseur. La meilleure disposition est celle dans laquelle le moût coule de lui-même dans le dépeleur-tamiseur et de là aux cuves à fermenter. Le montage, consistant à intercaler une pompe pour élever le moût non tamisé vers le tamiseur et une autre pour pomper le moût tamisé dans les cuves à fermentation, doit être évité autant que possible.

L'emploi du broyeur Bohm comme pompe pour refouler le moût du macérateur vers le dépeleur-tamiseur, ainsi qu'on l'a fait souvent jusqu'ici pour refouler ce moût du macérateur vers les cuves à fermenter, n'est pas non plus à recommander, à cause du grand débit de ce broyeur ; il vaut mieux, quand on ne peut pas éviter complètement le pompage, installer une pompe à piston spéciale, afin d'avoir une alimentation aussi régulière que possible du dépeleur-tamiseur.

Dans les cuves à fermenter qui, en vue de ce nouveau travail, ne doivent être ni carrées ni ovales, mais rondes, on monte, dans les petites fabriques, un agitateur tournant, en fer galvanisé ou en cuivre, et pour les grandes usines, des serpentins enroulés en spirale auxquels on communique un mouvement de rotation, ce qui produit un déplacement du moût de bas en haut. Les serpen-

tins à mouvement vertical alternatif ne conduisent pas au but que l'on veut atteindre dans la fabrication de la levure : un mouvement continu de soulèvement de celle-ci.

Les serpentins rotatifs que l'on monte dans les cuves doivent maintenir à 29,5 — 30° C, le moût qui a été mis en fermentation à 21 — 22°5 ; leur surface se calcule d'après la quantité d'eau dont on dispose et de sa température.

On peut noter que, dans les cas ordinaires, il faut compter sur une surface de 1 m² à 1 m², 25 par 1.000 litres de moût pour une eau à 11 — 12° C.

Le travail a lieu de la façon suivante :

Toutes les matières premières, sauf le maïs que l'on cuit sous pression, sont trempées à l'eau froide. Pendant ce trempage, la température de la masse ne doit pas dépasser 10 à 12° C. La durée de la trempée varie entre 18 à 40 heures, suivant les matières employées, suivant la dureté de l'eau et suivant sa température. Elle dépend en outre de la saison. En hiver et avec de l'eau dure, il est nécessaire de tremper plus longtemps que par un temps chaud d'été et avec une eau fort pure. En outre le seigle et le froment exigent une durée de trempée notablement moindre que le sarrasin. Il faut apporter un soin particulier au trempage du malt sec. Toutes les matières premières doivent être trempées à fond, ce que l'on reconnaît aux mêmes signes que pour le malt. On peut aussi faire germer le seigle, mais cela n'est pas absolument nécessaire.

Il est très recommandable de laver tous les grains avant de les faire tremper. Ce lavage donne toujours des avantages en raison des frais qu'il occasionne ; les tambours laveurs, tels que celui de Henschel, ne coûtent pas tellement cher qu'on ne puisse les installer.

On ajoute à l'eau de trempage 100 cc. d'acide sulfurique ou 150 cc. d'acide chlorhydrique par 100 kilog. de grains.

Quand le trempage est suffisant, on vide l'eau en excès ; celle qui provient du trempage du malt sec sert, ainsi que nous l'avons déjà dit, comme eau d'empâtage.

Les matières à saccharifier sont successivement passées au broyeur, en commençant par le malt, et tombent directement dans la macération où l'agitateur rotatif et le moulin de Bohm les mélangent intimement à l'eau.

Quand le macérateur a reçu un tiers des matières à mettre en œuvre, on commence à chauffer la masse par vapeur directe ou

indirecte suivant l'installation, et on monte graduellement en température jusqu'aux environs de 33°; à partir de 33° jusqu'à 48-50°, il faut monter aussi rapidement que possible, puis de 50 jusqu'à 60, 62°, on monte de nouveau lentement. Avec un peu de pratique, on arrive facilement à avoir une température de 60° C. au moment où tout le grain arrive dans le macérateur.

On maintient le moût durant trois heures et demie à quatre heures à la température de 60 à 62°, tout en faisant constamment marcher l'agitateur et le moulin de Bohm. Pendant ce temps, l'amidon trempé se transforme d'abord en empois; puis, sous l'influence de la diastase, il se saccharifie.

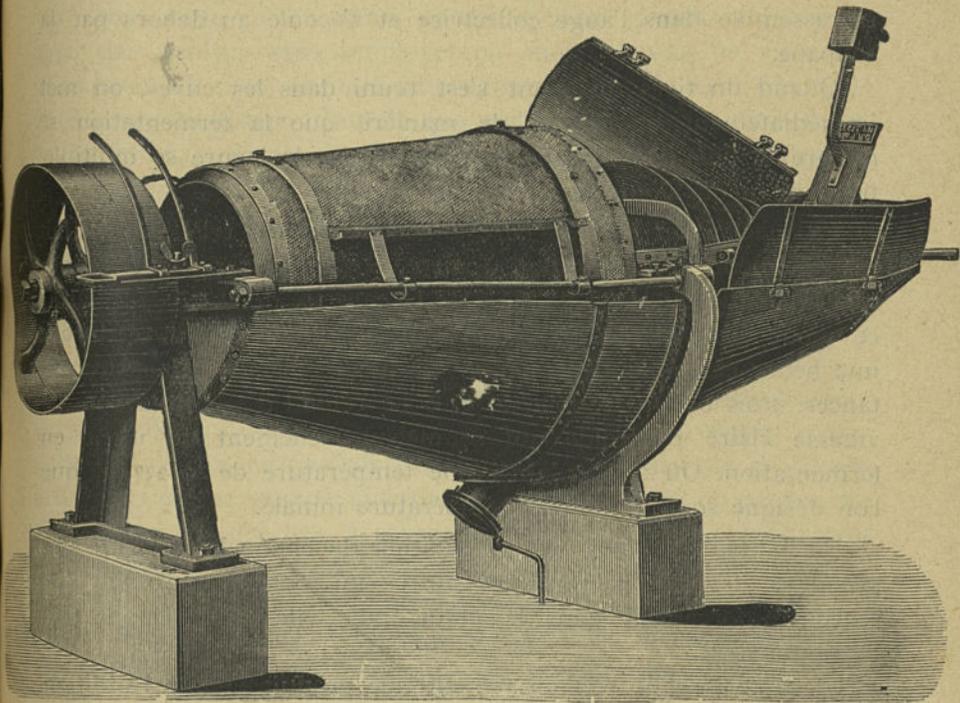


Fig. 281. — Dépeleur-tamiseur Muller.

Après trois heures et demie à quatre heures, la saccharification est terminée et on peut pomper le moût sucré encore chaud dans le dépeleur tamiseur : les balles et les grosses drèches sont retenues, tandis que le moût décortiqué, sous la forme d'un moût clair, va se refroidir sur un réfrigérant, et de là s'écoule vers les cuves à fermenter.

Le dépeleur tamiseur le plus employé en Allemagne est celui d'Ernst Müller, construit par la maison Eberhardt, de Bromberg.

Il se compose essentiellement d'un tamis cylindrique rotatif (fig. 281) muni intérieurement de palettes de propulsion et extérieurement d'un cylindre compresseur. Celui-ci est muni de segments d'hélice et d'une soupape à clapet avec contre-poids. Une auge avec robinet ou soupape de vidange reçoit le moût tamisé.

Le moût introduit dans l'appareil par différence de niveau ou à l'aide d'une pompe est d'abord tamisé dans le tambour rotatif. Les particules qui restent dans celui-ci sont poussées par les palettes vers le cylindre compresseur; là, elles sont saisies par les segments d'hélice et refoulées dans une embouchure qui se trouve à l'extrémité de l'appareil. Le moût dépelé par ce tamisage se rassemble dans l'auge collectrice et s'écoule au dehors par la soupape.

Quand un tiers du moût s'est réuni dans les cuves, on met immédiatement en levure, de manière que la fermentation se déclare le plus rapidement possible et que la levure se multiplie pendant qu'on ajoute le restant du moût.

La macération doit se faire à densité élevée, telle que se fait généralement la macération épaisse, et le moût ne doit remplir que la moitié ou les deux tiers de la capacité de la cuve. On laisse ce moût épais fermenter à une température de 31-33° C. durant une heure et demie, deux heures, et même, dans certaines circonstances, trois ou quatre heures, puis on l'étend d'eau froide ou de vinasse claire et froide qui se mêlent facilement au moût en fermentation. On atteint ainsi une température de 22-23° C. que l'on désigne sous le nom de température initiale.

En mettant le moût en fermentation de bonne heure, la levure prend les devants et étouffe les autres microorganismes que l'on rencontre forcément dans le moût, puis elle se développe très énergiquement.

La dilution et le refroidissement que produit ensuite l'addition d'eau et de vinasse froide n'arrêtent pas le développement de la levure.

La montée de la levure est notablement plus prononcée et de plus longue durée à cause de l'activité de la fermentation à son début, et, par suite, le rendement est plus élevé.

Aussitôt que les cuves à fermentation ont reçu la quantité de moût qui leur est destinée, on met l'agitateur en mouvement, et on le fait marcher pendant toute la durée de la fermentation, jusqu'à la fin de la récolte de la levure.

Par ce que nous enseigne l'industrie des alcools de pommes de

terre, nous savons que les drêches servent comme agitateur dans le moût. Les drêches empêchent le libre dégagement de l'acide carbonique qui se forme pendant la fermentation. Ce gaz se met sous forme de bulles sous les drêches qu'il soulève et entraîne à la surface ; là le gaz se dégage, et les drêches n'étant plus soutenues, redescendent dans le moût jusqu'à ce que de nouvelles bulles d'acide carbonique les entraînent de nouveau vers la surface. Ce mouvement continu d'ascension et de descente des drêches engendre une agitation qui produit le même effet que le mouvement lent d'un agitateur mécanique.

Le tamisage du moût et l'emploi d'un agitateur mécanique sont, pour cette raison, deux choses si bien connexes, qu'on ne peut pas tamiser sans employer en même temps un agitateur mécanique. L'emploi exclusif d'un agitateur dans la cuve à fermentation, sans tamisage, n'aurait que peu d'effet, car de cette façon on renforcerait simplement l'agitation sans faire disparaître l'action perturbatrice des drêches.

L'agitation mécanique facilite le mouvement ascensionnel de l'acide carbonique et favorise par suite la fermentation. Outre les drêches, l'acide carbonique entraîne aussi la levure vers la surface du moût, où elle forme, s'il y a une couche suffisante de gaz, la mousse de levure que l'on enlève.

Comme par le mode de travail usité jusqu'en ces derniers temps, la levure et les drêches étaient entraînées en même temps à la surface, on ne pouvait jamais recueillir la mousse de levure sans enlever une grande quantité de drêches : mais on ne pouvait pas enlever les drêches, à cause de l'agitation qu'elles produisent et qui favorisent la montée de la levure ; et c'est ainsi que, avec ce mode de travail, on n'obtenait qu'un rendement relativement faible, tandis qu'avec l'emploi des agitateurs mécaniques et des dépeleurs-tamiseurs, ce rendement est notablement augmenté.

La montée de la levure et le ramassage se font exactement comme dans le procédé ancien ; il faut prendre soin de toujours laisser subsister à la partie supérieure du moût une certaine quantité d'acide carbonique qui favorise la formation de la mousse.

La mousse de levure récoltée est immédiatement envoyée dans l'eau froide, avec laquelle elle est tamisée, puis la levure tamisée subit un ou deux lavages ; elle est ensuite pressée et traitée comme d'habitude.

Après ce que nous avons dit, il ne nous reste plus qu'à ajouter

quelques mots concernant une méthode un peu différente de préparer les levains; c'est la méthode chimique.

La production d'une acidité convenable et aussi pure que possible est aussi nécessaire pour ce nouveau procédé que pour les anciens. Le réchauffage du moût à levain, que la fabrication de la levure a emprunté à la distillerie de pommes de terre, ne se montre pas très avantageux pour le travail en levure. Il est de beaucoup préférable et plus sûr de ne pas réchauffer plusieurs fois le moût à levain, mais de le maintenir pendant l'acidification à une température d'au moins 57° C. On prépare le moût à levain le matin de bonne heure, avec du moût et du malt sec, puis on l'acidifie convenablement en l'ensemencant avec du moût acide. Après saccharification à 63-64° C., on refroidit à 59-60° et on le laisse s'acidifier durant trente heures en empêchant le refroidissement par l'introduction dans le moût d'un appareil réchauffeur en cuivre.

Pendant ce temps il s'est produit suffisamment d'acide lactique, en sorte que l'on peut arrêter l'acidification en refroidissant à 21-22° C. Ce refroidissement doit s'effectuer en un temps aussi court que possible — 15 à 20 minutes — au moyen d'un réfrigérant mécanique.

On met ensuite en levure avec de la levure-mère ou de la levure pressée; on préfère souvent cette dernière.

Le moût levain acide a, avant sa mise en levure, une concentration de 25-26° Balling et une acidité de 1,6 à 1,7 (en cc. de soude normale pour saturer 20 cc. de moût, soit, dans notre cas, 7g,2 à 7g,7 d'acide lactique par litre).

Pendant la fermentation qui dure 12 à 14 h., le moût, par suite de la forte dose de levure ensemencée, s'échauffe à 31-32 et même 33° C, et descend à 3-4 degrés Balling, pendant que l'acidité monte de 0,1 à 0,3, de façon que la neutralisation de 20 cc. de moût exige de 1,8 à 2 cc. de soude normale. On ajoute ce moût, comme nous l'avons dit plus haut, directement au moût à 25-26° Balling pour la mise en levain.

Stenglein a fait dans quelques distilleries, avec ce nouveau mode de travail, des essais comparatifs dont les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Désignations	Ancien système	Nouveau système
Rendement en levure.	12,38	15,77
— alcool.	26,92	27,80
Force de la levure	319,44	343,33
Conservabilité.	8,33	9,66
Perte de force pendant la conservation.	293,33	322,22

Il faut dire ici que l'usine dans laquelle ces essais ont été faits est de moyenne importance et une des mieux dirigées. De là les rendements relativement élevés en excellente levure que l'on obtient sans dépeleur-tamiseur et sans agitation mécanique. Par l'adjonction du broyeur Bohm, du dépeleur-tamiseur et de l'agitateur mécanique, les rendements ont malgré cela augmenté de 2,39 pour la levure, et on pourrait sans peine les faire monter encore de 3 à 3,5 p. 100.

Le rendement en alcool n'est monté que de 0,88 p. 100, mais on pourrait aussi le faire monter à 30-31 p. 100 sans diminuer le rendement en levure.

La force de la levure a augmenté de 23,89 pour 100, la conservabilité a augmenté de 1 et 1/3 de jour, et pendant le temps de la conservation, la levure a perdu en moyenne 28,99 p. 100 d'acide carbonique en moins que dans le travail sans moulin Bohm, sans tamiseur de moût et sans agitateur.

Tous ces résultats plaident donc en faveur de l'introduction de ces divers appareils dans les fabriques de levure. Les avantages de ces appareils sont, du reste, tellement évidents, qu'on peut s'étonner à bon droit qu'on ne les ait pas encore employés jusqu'ici, d'autant plus que leur usage est déjà répandu dans l'industrie sœur, la distillation des pommes de terre.

Conservation de la levure

§17. Ce problème, dit M. Duclaux (1), est résolu d'avance pour les levures pures, qu'il n'y a qu'à laisser déposer et à décanter, quand elles sont assez *épaisses*, dans un vase stérilisé auquel on peut donner la forme qu'on veut. L'Institut Pasteur a renoncé aux vases compliqués, munis de cols ou de tubulures, et se sert de canettes fermées par un bouton de porcelaine portant une rondelle de caoutchouc et qu'un ressort maintient appliqué sur le goulot. Les levures de boulangerie, de distillerie, de brasserie même ne

(1) Duclaux. Traité de Microbiologie, chez Masson, 1900.

présentent pas le degré de pureté qui leur permettrait de supporter ce mode de conservation en un milieu liquide. Lorsqu'on ne veut pas les dessécher, il faut les protéger contre l'invasion des microbes, et on peut employer pour cela plusieurs moyens.

D'abord l'action du froid, qu'il ne faut pourtant pas pousser trop loin si on ne veut pas nuire à la levure. Héron conseille de laisser déposer la levure, en suspension dans son liquide nutritif, dans des vases plats entourés de glace. On décante le liquide surnageant et on mélange le dépôt avec 10 fois son poids d'eau froide. Après 2 à 3 heures, on décante pour éliminer un dépôt formé de débris amorphes et de cellules mortes, et on laisse la levure se déposer pendant 6 à 8 heures. Ce dépôt est introduit dans des sacs en toile épaisse, qu'on laisse d'abord égoutter, puis qu'on soumet à l'action de la presse.

Quand on craint l'intervention des bactéries, on peut remplacer l'eau de lavage par une solution d'acide salicylique à 20 gr. par hecto, ou d'acide fluorhydrique, comme l'a recommandé Effront. Mais un long contact avec un antiseptique quelconque affaiblit toujours la levure. Kieselwalter a conseillé l'emploi de la glycérine comme moyen de conservation.

La levure pressée se conserve mieux que si elle restait dans un liquide quelconque, mais ne dure pas plus de 3 ou 4 jours en été, plus de 6 ou 8 jours en hiver. Quand on veut lui assurer des durées plus longues, il faut la dessécher davantage. Kieselwalter délaie pour cela la levure pressée dans de l'alcool, laisse quelques heures en contact puis décante, et la presse de nouveau. Il l'expose ensuite, en l'étalant sur des linges, à un courant d'air sec, et enferme la poudre ainsi obtenue dans des vases hermétiquement clos. Reinke étale la levure, bien lavée et pressée, sur des doubles de papier à filtres stérilisé, égalise la surface au moyen d'un rouleau, puis comprime entre des plaques d'amiante stérilisée. On enlève les dernières traces d'humidité en saupoudrant le papier à filtrer avec de la poudre de plâtre, et on conserve dans des boîtes de métal. Cette pratique rappelle celle que Hansen avait conseillée à l'origine de ses études pour de petites quantités de levure qu'il desséchait entre des doubles de papier poreux stérilisé, et faisait voyager ainsi.

Quand on opère sur de grandes quantités, ces méthodes ne sont pas pratiques. Il vaut mieux se servir alors de substances absorbantes, charbon animal ou végétal, farines, fécules, gypse.

Balling mêle la levure avec de la farine et du charbon pulvé-

risé, ou encore du noir d'os, et dessèche doucement ce mélange à l'ombre. Une autre pratique, répandue dans un certain nombre de brasseries, consiste à mélanger la levure avec du houblon, à laisser égoutter le mélange, puis à le presser, et à le diviser enfin en boulettes de la grosseur du poing qu'on dessèche à l'ombre. La levure peut ainsi vivre plus d'un an sans perdre ses propriétés. Duclaux a eu entre les mains une levure chinoise, faite d'un mélange desséché de levure et de plâtre, auquel on avait mélangé des graines de cumin. Cette préparation était très ancienne, et il l'a conservée plus de 2 ans sans la voir périr.

Dœbereiner emploie une autre méthode: il recommande de faire un sirop épais avec de la levure bien lavée et une quantité suffisante de sucre. Héron donne le même conseil. Cela revient à mettre la levure en contact avec une substance nutritive dans des conditions où la vie est impossible, et revient à la pratique recommandée par Hansen, qui conserve ses levures dans une solution à 10 p. 100 de sucre de cannes dans l'eau distillée. La levure, un peu épuisée lorsqu'on la met dans cette solution concentrée et peu favorable, y vit sans y amener de fermentation et peut y rester très longtemps vivante.

D'après un travail récent de Hill (1), les conditions les plus favorables à la bonne conservation de la levure sont : abstraction faite de la nature des substances de mélange, la dessiccation lente à une température s'élevant graduellement à 40° C, une faible teneur en eau (3 à 6 p. 100), la conservation à basse température et à l'abri de l'air. Parmi les substances de mélange préconisées pour augmenter la conservabilité des levures telles que le plâtre, la silice, l'amiante, le papier-filtre, le charbon, Hill donne la préférence à ce dernier produit (2).

Le problème de la conservation de la *levure viennoise* a été résolu, en 1893, par MM. Boidin et Collette (3), les inventeurs de la saccharification-fermentation par les mucidinées.

Tous ceux qui ont fait le commerce de la levure dite *viennoise*, ou qui en ont fabriqué, savent à quels inconvénients on est exposé à chaque instant, par suite de sa mauvaise conservation.

(1) Zeitschrift f. Spiritus industrie, 1897.

(2) La conservation de la levure au moyen du charbon de bois, pour le transport dans les pays d'outre-mer, paraît avoir été souvent employée dans ces dernières années et cela avec un résultat satisfaisant même dans les cas les plus difficiles. Il est recommandé de choisir le tissu de bois comme principale addition, tandis que le charbon de bois pulvérisé n'y est mélangé qu'en quantité proportionnellement faible.

(3) Société industrielle du Nord de la France, 1895.

Pendant les chaleurs de l'été, il n'est guère de fabricant qui ne perde chaque semaine une certaine quantité de levure, parce que cette levure est arrivée gâtée chez les clients.

Après 24 heures de voyage par les temps chauds ou orageux, il n'est pas rare de la voir se couvrir d'un fin duvet de moisissures; ou encore elle se ramollit par suite d'un commencement de putréfaction provoquée par les bactéries qui se sont développées à l'intérieur.

Cette conservation si incertaine oblige le fabricant de levure à ne la produire qu'au fur et à mesure des commandes.

Les ennuis ne sont pas moindres pour le boulanger et le pâtissier, car, lorsque la levure est altérée, la pâte, dans la composition de laquelle elle entre, ne lève pas, et le pain qui en résulte est lourd, gris et aigre.

Aussi, la consommation de la levure s'est-elle peu développée et est-elle restée confinée dans les grandes villes de France, pour la pâtisserie, et dans le Nord et le Nord-Est de la France, pour la boulangerie. Tout boulanger qui ne se trouve pas dans un pays à communications faciles et à climat relativement froid, est obligé de renoncer à s'en servir.

La perspective continuelle de ces inconvénients, le désir de développer son emploi, de la rendre applicable à tous les climats et d'en faire un article d'exportation, ont décidé les inventeurs à chercher par tous les moyens possibles un procédé de conservation qui ne change nullement la vitalité des cellules de levure, en n'employant aucun produit nuisible à la santé.

On ne pouvait arriver à ce résultat qu'en rejetant complètement les méthodes qu'avaient tenté d'appliquer, depuis une trentaine d'années, les nombreux chercheurs qui ont travaillé ce problème. Il fallait renoncer à l'emploi du vide auquel la levure ne résiste que difficilement; à l'emploi d'une température de 30° environ, parce qu'à cette température les moisissures (1) et bactéries se multiplient rapidement et donnent naissance à des produits qui tuent la levure; à l'emploi de l'air sec et tiède, parce que la respiration de la levure est tellement énergique qu'elle épuise sa réserve de matières hydrocarbonées et qu'elle prend une odeur forte et désagréable qui se communique au pain.

MM. Boidin et Collette ont songé à employer, comme M. Pasteur l'avait fait en 1873, le plâtre comme déshydratant, mais le plâtre est nuisible à l'alimentation.

(1) Telles que l'*Oidium lactis* (367, fig. 199).

Ils ont obtenu un résultat satisfaisant¹ par l'emploi de la fécule anhydre.

Principes de la méthode. — Si à de la levure pressée et granulée on ajoute petit à petit de la fécule anhydre, cette dernière absorbe les 72 p. 100 d'eau que contient encore la levure et celle-ci, ainsi desséchée et débarrassée par tamisage de la fécule humide, est devenue conservable.

La fécule humide qui a servi est chauffée à 115-120° pour lui enlever toute son eau, et sert ainsi indéfiniment.

Tel est le principe de cette méthode excessivement simple, qui ne donne de bons résultats qu'à la condition de prendre un certain nombre de précautions.

Nous allons passer en revue les appareils utilisés dans cette fabrication :

1° La levure pressée est d'abord réduite en petites boules, en la faisant tourner dans une sphère à fabriquer les dragées, puis mélangée à de la fécule du commerce à 20 p. 100 d'eau et introduite dans des sacs en coton qui sont aussitôt placés dans les tambours de dessiccation.

2° *Tambour de dessiccation.* — Il se compose d'un grand cylindre en fer de 2 m. 50 de diamètre, monté sur quatre galets et faisant un tour par minute. Ce cylindre est divisé en 12 cases, dont 3 côtés sont formés par des barres de fer rond formant crible, le quatrième côté est constitué par la tôle du tambour lui-même.

Au milieu de chaque case se trouve un trou d'homme. Au centre du tambour, une trémie terminée par un entonnoir, par laquelle l'ouvrier met de la fécule anhydre.

Cette fécule anhydre tombant au centre de l'appareil, vient saupoudrer les sacs, dessèche le coton qui, à son tour, dessèche la fécule de l'intérieur des sacs, de sorte que l'humidité de la levure se transmet successivement à la fécule de l'intérieur des sacs, au tissu du sac, et enfin à la fécule anhydre.

Quand, après 12 heures, on a ajouté une quantité de fécule égale à au moins 6 fois le poids de la levure, la dessiccation est terminée ; on peut alors constater que la fécule de l'intérieur des sacs contient encore 20 p. 100 d'eau comme au début ; il en résulte donc que par cet artifice, la dessiccation est rendue absolument douce, régulière et progressive.

La surface cylindrique du tambour est maintenue par un mince filet d'eau à une température de 12 à 14°, quelle que soit la température ambiante.

Tamissage. — La dessiccation étant terminée, le contenu des sacs est jeté sur un sasseur de meunerie (fig. 267), la fécule passe à travers la soie et la levure est reçue à l'extrémité du tamis.

Cette fécule sert à nouveau dans les opérations suivantes.

Quant à la fécule hydratée de l'extérieur des sacs, elle est soumise à une dessiccation à haute température dans le dessiccateur de fécule.

Dessiccateur de fécule. — Le dessiccateur se compose d'un cylindre de 0 m. 80 de diamètre monté sur galets et terminé aux deux extrémités par d'épaisses plaques tubulaires dans lesquelles sont bagués 6 tubes de 200 m/m.

Un cylindre en tôle, rivé sur un bout de l'appareil, est rempli au tiers de la fécule à dessécher, et cette fécule en tournant avec l'appareil s'engage, en retombant, automatiquement dans chacun des tubes, grâce à des couteaux convenablement disposés.

Le faisceau tubulaire est chauffé par de la vapeur à la tension de 3 kilogr. (par cm²).

L'appareil ayant une légère pente, la fécule roule dans les tubes où elle rencontre un fer à cornière qui remplit l'office de retourneur; quand, après 7 à 8 minutes, elle sort de l'appareil, elle ne contient plus que 1 p. 100 d'eau; elle est alors reprise par une chaîne à godets qui la porte dans le refroidisseur de fécule.

Une fois refroidie, elle est reçue dans la farinière qui sert à alimenter les tambours de dessiccation.

Passons maintenant en revue les propriétés de ce nouveau produit, que les inventeurs ont appelé *Levure inaltérable*.

Elle n'a besoin, pour reprendre les propriétés de la levure de grains pressée, que d'être projetée dans l'eau tiède où, en se délayant, elle reprend sa couleur blanche et sa fine odeur; aussitôt fondue elle peut être employée.

L'état sec dans lequel elle se trouve la protège admirablement contre l'invasion des moisissures qui apparaissent si fréquemment sur la levure fraîche.

La levure inaltérable placée dans un endroit sec, peut se conserver indéfiniment et garder son pouvoir fermentescible pendant plus d'une année.

Néanmoins, il ne faut pas oublier que la levure est une plante et qu'elle jouit des propriétés générales des végétaux; de même que des grains qui ont été conservés longtemps germent lentement et irrégulièrement, de même la levure inaltérable donnera

après un certain nombre de mois, une pousse moins rapide, une germination moins régulière, et il y aura des cellules qui ne germeront plus. Il est donc plus économique de ne pas vouloir la conserver indéfiniment et de renouveler sa provision de temps en temps, comme on le fait, du reste, pour la farine.

On peut aisément se rendre compte de son pouvoir fermentescible en opérant de la façon suivante :

Prendre 10 gr. de levure inaltérable et les verser dans un verre à moitié rempli d'eau tiède avec un morceau de sucre blanc ; la levure gonfle, blanchit, et, en 5 ou 6 minutes, la mousse monte jusqu'au haut du verre. On peut alors pétrir, avec cette petite quantité, un gâteau de 1 à 1 k. 5 qui, mis dans un endroit chaud, poussera très rapidement.

L'emploi d'une telle levure aurait pour conséquence un progrès considérable dans la boulangerie ; elle permettrait aux pays qui n'ont pas de levure de faire un pain aussi parfait que le pain parisien, tout en supprimant les ennuis de conservation et en assurant au boulanger une sécurité absolue et une réussite constante.

Malheureusement, comme cela a toujours lieu en pareil cas, ce produit nouveau n'a pas trouvé l'accueil qu'il méritait, et l'invention du travail par les mucédinées ayant, dans la suite, absorbé tout le temps des inventeurs, ceux-ci ont abandonné la fabrication de ce produit qui, actuellement, est l'objet de demandes très fréquentes.

Pour être complet, ajoutons que, d'après les expériences de M. Boidin, toutes les levures ne supportent pas le traitement indiqué ci-dessus. Cela dépend non seulement de l'espèce de cellule, mais des conditions de la fabrication. Les levures de bière notamment ne résistent pas à cette dessiccation, ce qui paraît dû à la faible épaisseur de leur enveloppe.

Filtres à air

518. Les fabricants de levures employant actuellement des grands filtres à air, nous décrivons ici quelques modèles de ces appareils.

Filtre Hentschel. — Le filtre à air d'Otto Hentschel se compose de deux vases réunis par un tuyau recourbé. Le petit vase V constitue un

filtre préparatoire, tandis que le grand vase G est le filtre proprement dit, qui, quand on comprime l'air dans l'appareil, sert en même temps d'accumulateur. L'air entre d'abord dans le vase V, traverse

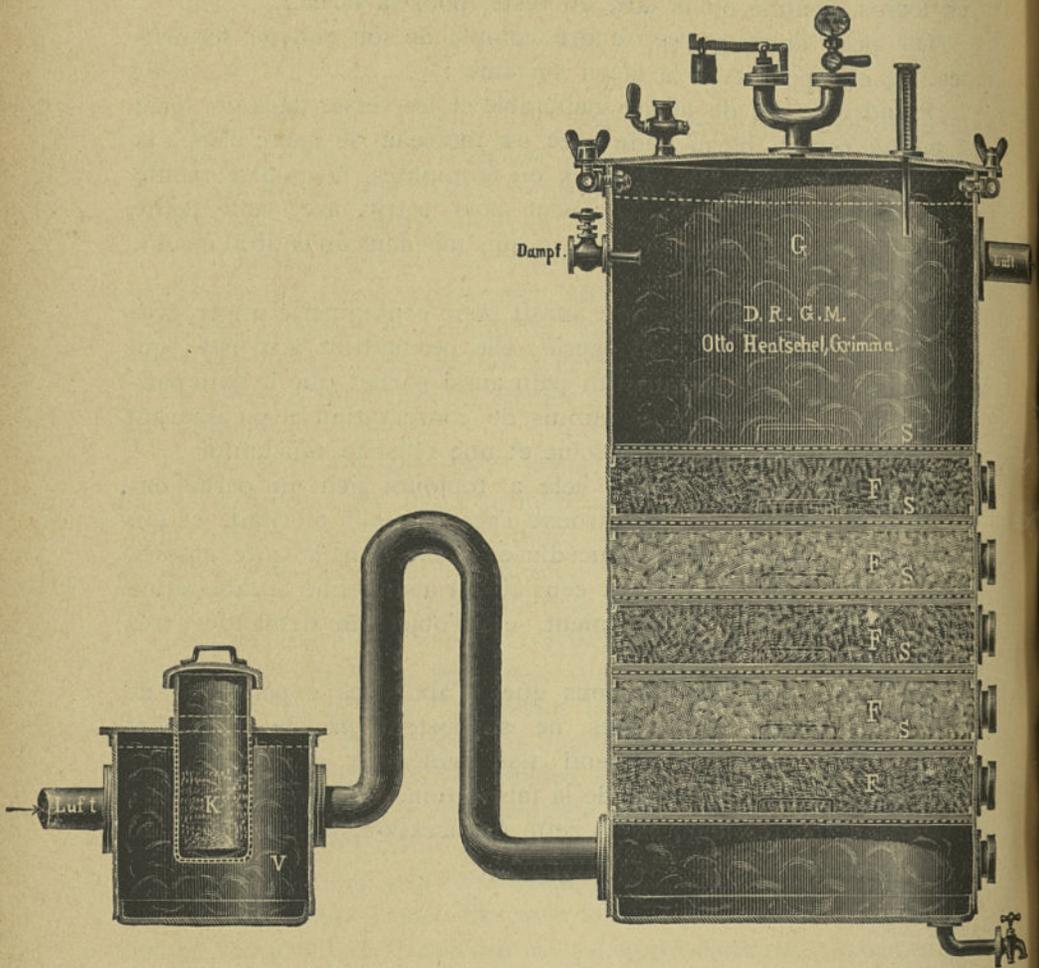


Fig. 282. — Filtre à air d'Otto Henschel.

le filtre K qui est rempli d'un liquide antiseptique ou de coton humide trempé dans un tel liquide, puis il passe dans le véritable filtre G. Celui-ci est aux $\frac{2}{3}$ de sa hauteur divisé en compartiments par des plateaux perforés S. Le compartiment supérieur sert de réservoir d'air et les 5 compartiments au-dessous, remplis de substances diverses F, servent de filtre.

Le premier plateau porte une triple épaisseur de flanelle et au-dessus une couche de tourbe en poudre ou du sable calciné bien sec. Cette couche retient l'humidité.

Sur le deuxième plateau se trouve une épaisseur de flanelle encore plus forte recouverte de coton à filtre.

Le troisième plateau, également recouvert de flanelle, porte de petits cailloux très fins ou du sable. Les autres plateaux ne portent que des flanelles tendues dans le cadre et entassées les unes au-dessus des autres.

Pour la sécurité, l'appareil porte un manomètre et un vacuomètre, un thermomètre, un robinet d'épreuve permettant de s'assurer de la pureté de l'air.

Un petit robinet placé sur le fond du filtre permet de vider l'eau condensée pendant la stérilisation.

Filtre Möller

319. Cet appareil est divisé en deux parties : le filtre préparatoire ou *filtre à poussières* et le filtre à germes.

Le filtre préparatoire (fig. 283) comprend une épaisseur de toile, le filtre définitif (fig. 284) en comprend 10.

Chacun des filtres à poches est tendu dans un cadre en fer cornière W M qui est rivé soigneusement dans une caisse en tôle galvanisée de façon à ne laisser aucun passage à l'air. Ce cadre porte un certain nombre de goujons sur lesquels sont fixés les rebords de poches. Les rebords des différentes couches de toile sont juxtaposés et, au moyen d'un fer plat F M, pressées les unes contre les autres, à l'aide des écrous qui portent les goujons. Pour empêcher l'aplatissement des poches par la pression de l'air, on place à l'intérieur de celles-ci des chevalets qui sont maintenus dans les poches par 2 rivets en fer cornière et 4 forts boulons SS. Dans le but d'éviter les taches de rouille, tous ces boulons sont en laiton.

Par les temps humides, pour empêcher les filtres de s'abîmer, on ouvre la valve de vapeur W. La vapeur passe alors dans un petit serpentin réchauffeur et réchauffe l'air exactement au point nécessaire pour maintenir l'état de saturation.

Pour les filtres marchant sous pression cette précaution est inutile parce que la chaleur dégagée par la compression de l'air est suffisante pour produire cette élévation de température.

Pour le contrôle de la pureté de l'air il y a un vérificateur P consistant en un cylindre muni d'un regard dans lequel on peut placer des tubes d'essai ou des ballons contenant du moût gélatiné. On laisse l'air souffler pendant quelque temps sur la gélatine puis on l'étudie à l'effet de savoir si elle est restée stérile.

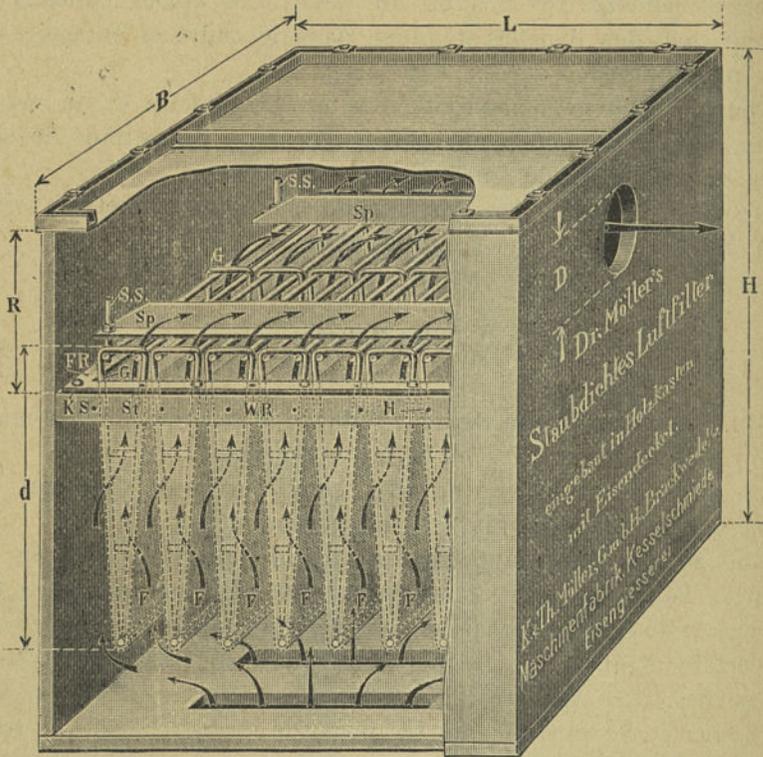


Fig. 283. — Filtre préparatoire de Möller (Modèle 1900).

Si le filtre doit être stérilisé, on interrompt son fonctionnement, on ferme l'arrivée et la sortie de l'air par une valve, par une soupape ou au besoin par des joints pleins, on laisse évacuer par les serpentins H H l'eau de la conduite de vapeur en ouvrant la soupape T, on s'assure en ouvrant le robinet d'épreuve C que la vapeur est sèche, c'est-à-dire que l'eau de condensation s'est écoulée, on ferme ensuite le petit robinet C en baissant la valve V et on ouvre aussi la soupape Sr par laquelle la vapeur s'écoule dans la chambre d'air par des filtres et passe à travers les toiles. On laisse agir la vapeur durant $\frac{3}{4}$ d'heure, on ferme la valve Sr et on remet de nouveau le filtre en service.

Pour la mise en route *il est à conseiller* de faire marcher le filtre à blanc pendant 8 jours avant de s'en servir ; au bout de ce temps tous les germes de la surface des toiles du réservoir d'air de la tuyauterie ont été entraînés.

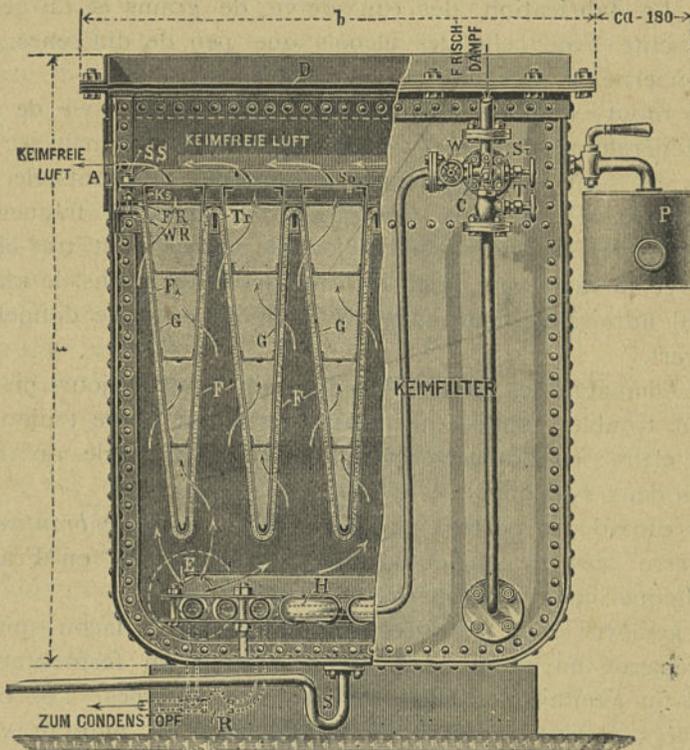


Fig. 284. — Filtre à germes de Möller (Modèle 1900).

Le filtre Moëller présente l'avantage de n'offrir qu'une très faible résistance et par suite de n'exiger que fort peu de force motrice.



CHAPITRE XXIX

Fabrication des eaux-de-vie de grains et du genièvre

520. La fabrication des eaux-de-vie de grains et du genièvre ne présente avec celle des alcools que peu de différence, en ce qui concerne la saccharification et la fermentation.

Les moûts destinés à la production des eaux-de-vie de grains sont généralement préparés avec un mélange de malt sec et de seigle ; ils sont donc analogues à ceux des fabricants de levure pressée : aussi les deux fabrications se font-elles fréquemment ensemble. Mais tandis que la levure pressée peut très-bien se faire avec le malt vert, pour les eaux-de-vie de grains, le malt sec est seul admissible, par suite du goût de cru que donnerait le malt vert.

En Allemagne les eaux-de-vie de grains sont toujours préparées à moût trouble, tandis qu'en Angleterre, on opère toujours par moûts clairs ; en France, en Belgique et en Hollande, on travaille par les deux systèmes.

Les eaux-de-vie portent en Allemagne le nom de *brantwein*, en Angleterre ceux de *gin* et de *wisky*, en Hollande, en France et en Belgique, celui de *genièvre*.

Le genièvre était primitivement obtenu de la façon suivante : On préparait un moût *clair* qu'on mettait en fermentation et auquel on ajoutait des baies de genièvre écrasées. Les céréales employées étaient le seigle et l'orge, mais on ajoutait souvent une certaine quantité d'avoine, parce qu'à tort ou à raison, cette céréale était considérée comme facilitant la fabrication.

Le malt était faiblement touraillé pour ne pas donner un goût désagréable.

On employait aussi une certaine quantité de houblon, qu'on mélangeait aux baies ou dont on ajoutait une décoction au moût. Le houblon servait d'antiseptique contre la fermentation butyrique, et en même temps il donnait à la liqueur une saveur de thérébenthine recherchée des amateurs.

Le sucre des baies de genièvre fermentait en même temps que celui du moût, et l'alcool produit dissolvait l'essence de genièvre. On obtenait donc par la distillation une eau-de-vie ayant, outre le goût de genièvre, le goût de grain, et possédant souvent un arôme spécial dû au houblon.

On employait une faible dose de levure (200 gr. par hectol.) et on ne laissait jamais la fermentation s'achever complètement. En somme on cherchait à avoir un moût très peu chargé de levure ; on trouvait qu'une fermentation complète donnait un genièvre d'une saveur désagréable.

Actuellement on n'ajoute jamais de baies de genièvre au moût en fermentation. Ces baies sont ajoutées aux flegmes avant une deuxième distillation, ou bien on les met dans une boîte dans laquelle passent les vapeurs de la première distillation, ou, mieux encore, on les supprime complètement. Beaucoup de genièvres fort renommés sont faits sans aucune addition de baies. Pour certaines qualités on ajoute de l'essence ou extrait de genièvre. Mais les genièvres à bon marché sont faits tout simplement avec de l'alcool et des baies de genièvre.

Voici comment nous avons vu faire un genièvre fort réputé des environs de Lille :

On emploie du malt sec et du seigle. La proportion de malt sec est de $1/5$ à $1/4$. Le malt touraillé à basse température est moulu entre des meules qu'on va remplacer par un concasseur. Le seigle est moulu dans un moulin à cylindre de Gault. Le mélange de malt et de seigle est saccharifié à 66° C dans un macérateur du genre Lacambre (fig. 170) avec un grand nombre d'injections de vapeur. Après saccharification, on refroidit en faisant passer de l'eau froide dans le double-fond, puis on vide le macérateur dans de petites cuves où la fermentation dure 36 heures. Le moût trouble est distillé dans une colonne à petites calottes multiples, ce qui donne d'un côté le flegme et de l'autre la drèche.

Le flegme est rectifié dans un petit rectificateur sans rétro-gradation, ce qui donne le genièvre.

Le rendement en alcool à 100° n'est que de 25 p. 100.

Il arrive parfois que le genièvre présente un arrière-goût qui persiste après dégustation. Cet arrière-goût disparaît bien par une rectification, seulement alors tous les goûts particuliers des grains disparaissent également, et on n'a plus l'arôme du grain que l'on recherche. On attribue ce goût à la levure, car il se produit surtout quand on fait en même temps de la levure. Cependant les fabricants de genièvre hollandais font de la levure. Il doit donc y avoir une autre cause ; mais nous étudierons ce fait au chapitre de la distillation, dans lequel nous devons revenir sur la fabrication des eaux-de-vie et du genièvre.

CHAPITRE XXX

Production continue de levains purs en distillerie. Application à la distillation des betteraves et à celle des mélasses (Système BARBET).

521. Au fur et à mesure que les principes de Pasteur pénètrent dans la pratique journalière des industries de la fermentation, l'on arrive à cette conviction que la première condition à remplir pour obtenir les meilleurs résultats comme pureté et les plus grands rendements comme alcool, consiste à produire journellement, et en quantité suffisante, des levains purs, provenant d'une race de levure appropriée au genre de l'industrie, et acclimatée à la nature du moût sucré. Une fois ces levains obtenus, on peut sans aucun inconvénient laisser la fermentation proprement dite se faire à air libre, car lorsque le moût est copieusementensemencé de levure en pleine activité il sait se défendre contre les bactéries pendant toute la durée de la fermentation alcoolique.

Plusieurs méthodes ont déjà été expérimentées dans ce but ; notre objectif a été de trouver une simplification d'outillage, et en même temps d'assurer une très grande vitalité à la levure. Nous sommes également arrivé à espacer à de longs intervalles les renouvellements de semence pure qui sont toujours une opération délicate, surtout dans les pays lointains.

Le principe de notre procédé est le suivant : N'avoir qu'un seul et unique vase comme appareil à levains, s'arranger pour pouvoir en soutirer trois ou quatre levains par 24 heures, et faire l'appareil assez grand pour que chacun de ces levains puisse servir directement de pied de cuve sans aucun autre intermédiaire de prolifération à air libre. L'appareil, une foisensemencé, doit pouvoir fournir des levains pendant plus d'un mois si toutes les précautions sont bien prises contre les contaminations. A cet effet, tous les robinets sont noyés dans des bassins d'eau formolisée, et toutes les soupapes possèdent une petite cuvette dont le calfat est protégé par de l'eau antiseptique.

A l'appareil ainsi constitué, M. le Dr Calmette a suggéré l'idée d'un perfectionnement fort utile pour pousser à la grande prolifération de la levure en même temps que pour exalter sa force fermentatrice. Il lui a conseillé de faire en grand comme Pasteur faisait au laboratoire : pour revivifier une levure fatiguée il faut la cultiver pour ainsi dire *en voile*, c'est-à-dire dans un bouillon

de culture de très peu d'épaisseur et largement étalé au contact de l'air. Pasteur avait recours, dans ce but, à de grands ballons dont le fond plat n'était recouvert que d'une mince couche de liquide. Le terme de « culture en voile », n'est pas exact pour de la levure, mais nous pouvons adopter l'expression de *culture en aérobiose*. Notre nouvel appareil à levain est une réalisation industrielle de ce principe.

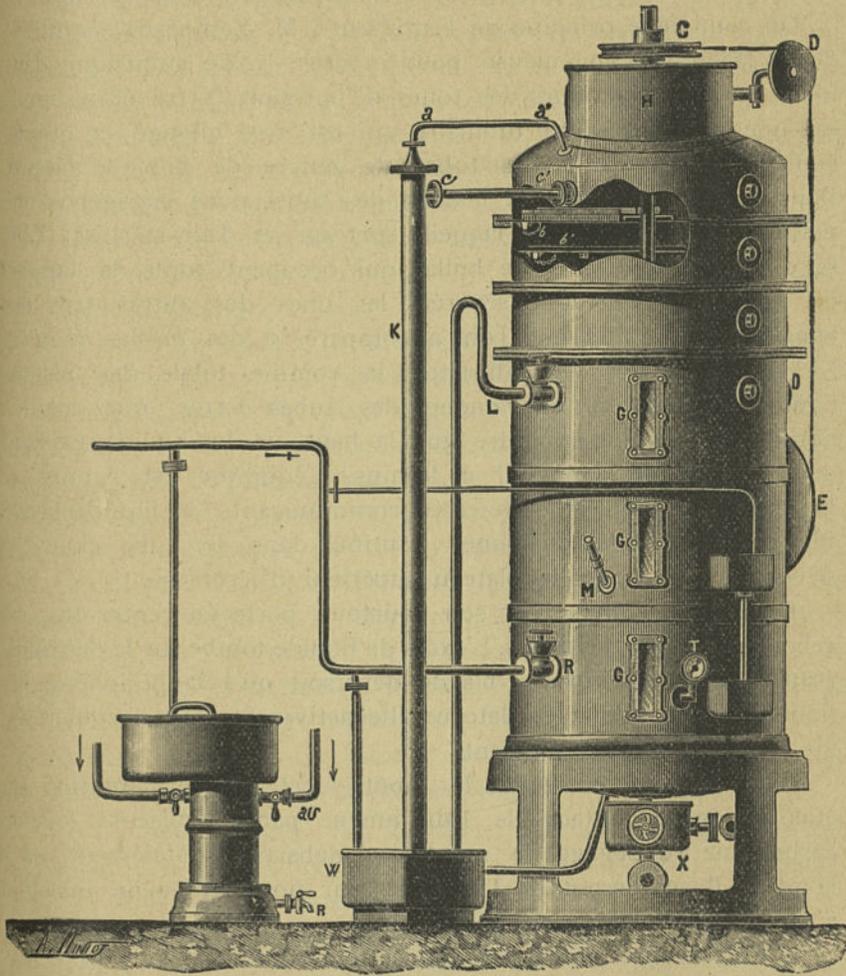


Fig. 285. — Appareil à levains purs avec aérobiose, système Barbet
(Exposition universelle 1900)

Nous dirons tout à l'heure, comment on introduit du moût stérilisé dans l'appareil à levains; qu'il suffise de dire pour le moment que la stérilisation du moût se fait en dehors de l'appareil.

L'appareil à levains (fig. 285), est un cylindre vertical, en cuivre

ou en tôle, porté sur un socle en fonte, et composé de deux parties distinctes : le bas fait réservoir de jus en fermentation pure, tandis que le haut comprend de quatre à six plateaux d'*aérobiose* sur lesquels le liquide forme une couche très mince d'environ 2 centimètres d'épaisseur.

Le liquide du réservoir inférieur est perpétuellement remonté sur le plateau supérieur au moyen d'un émulseur à air stérilisé, K.

On connaît le principe de l'émulseur : M. Zambeaux l'a utilisé d'une façon très ingénieuse pour monter l'acide sulfurique dans les réservoirs supérieurs des tours d'épuration. Notre émulseur K est une sorte de petit tubulaire qui est très allongé et qui ne comprend que six à dix tubes de cuivre de faible diamètre. Dans l'orifice inférieur de chacun des tubes nous engageons une petite buse verticale par laquelle sort un jet d'air stérilisé. L'air se divise en une série de bulles qui occupent toute la largeur du tuyau, et qui sont séparées les unes des autres par des anneaux de liquide que l'on a comparés à des *pistons liquides*. Si l'arrivée d'air est suffisante, la somme totale des pistons liquides dans l'un quelconque des tubes forme une colonne liquide de hauteur moindre que la hauteur du liquide existant dans le bas de l'appareil à levains. L'équilibre est rompu, et par suite de la loi sur les vases communicants, le liquide prend un mouvement ascensionnel continu dans le tube pour se déverser par *cc'* sur le plateau supérieur d'aérobiose.

Ce plateau, étanche sur son pourtour, porte au centre un petit rebord qui forme déversoir. L'excès de liquide tombe sur le deuxième plateau qui, au contraire, n'a de déversoir qu'à la périphérie. Le liquide parcourt donc les plateaux alternativement de la circonférence au centre et réciproquement.

Dans tout ce parcours, le moût sucré en fermentation est étalé au large contact de l'air amené par l'émulseur. L'acide carbonique se dégage, le moût s'en débarrasse totalement, et à la place il se dissout de l'oxygène par un phénomène analogue à celui de la respiration pulmonaire.

Il est incontestable que de cette façon l'air agit beaucoup mieux sur la levure que l'air injecté en gros bouillons au fond d'un récipient. Une comparaison fera saisir la différence du mode d'action.

Supposons qu'au lieu de levure on mette dans le moût un organisme nettement amphibie, comme par exemple une mucédinée.

La culture sur les plateaux va donner tout de suite des mycé-

liums aériens. Tandis que dans le réservoir intérieur, on aura beau injecter de l'air, on ne produira que la forme anaérobie ou immergée de la mucédinée ; les mycéliums se sectionneront et prendront la forme de globules ovales ressemblant à des levures et donnant une production d'alcool.

Un axe vertical traverse l'appareil à levains ; cet axe porte des brosses métalliques pour mettre en suspension les levures déposées sur les plateaux ; on les fait tourner de loin en loin par un mécanisme à la main, C D E ; H est une cuvette à eau formolisée pour noyer le calfat et la soupape de sûreté.

L est la sortie du mélange d'air et d'acide carbonique ; il barbote dans la cuvette W de l'émulseur.

M, tubulure d'ensemencement de la levure pure.

R Entrée d'air stérilisé pour barbotage direct.

G Glaces pour voir le niveau.

T Thermomètre.

X Robinet de vidange (noyé), portant latéralement une tubulure pour recevoir soit de la vapeur, soit de l'air stérilisé.

Le stérilisateur d'air, placé à gauche de la figure, se compose d'un filtre à ouate enfermé à demeure dans un autoclave à vapeur. L'air commence par circuler dans un serpentin noyé dans l'enveloppe à vapeur, où il peut s'échauffer à haute température. Puis il traverse de bas en haut le coton qui est chauffé par l'enveloppe du filtre. De cette façon toutes les parties de l'ouate sont portées à la température de stérilisation. On peut alors supprimer la vapeur, la filtration de l'air suffisant à le débarrasser de ses germes, pourvu que le coton soit purifié de temps en temps à la vapeur. On peut également laisser en permanence un filet de vapeur pour tiédir l'air, parce que l'aération refroidit sensiblement les mûts.

Application du procédé aux distilleries de betteraves. — Une fois cet appareil à levains expliqué voici comment nous procédons pour le travail de la betterave (fig. 286).

A sont les bacs mesureurs de jus de la diffusion ou de la macération. La totalité des jus est stérilisée à une température voisine de l'ébullition pour détruire, en même temps que les bactéries, la diastase saccharogénique que contient le jus de betteraves, et qui, d'après nous, est l'adversaire de l'invertase de la levure (D'après M. Barbet. Voir n° 447).

La stérilisation se fait dans le bac en tôle C, et, pour réduire au minimum la dépense de vapeur d'eau, le jus avant d'y entrer

traverse un appareil tubulaire B, où il reprend, par un échange méthodique, la chaleur du jus stérilisé sortant de C, et entrant par la soupape R dans la caisse tubulaire ; le réfrigérant très méthodique V complète la réfrigération du jus.

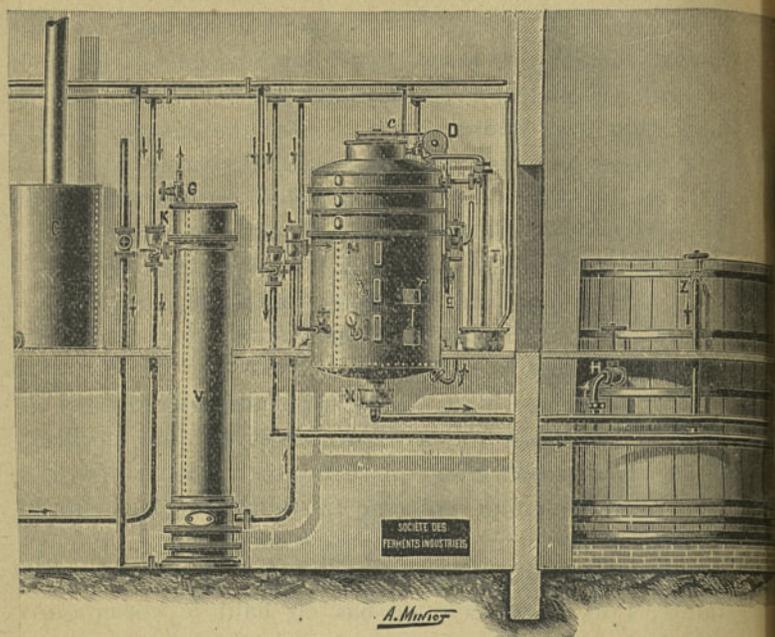


Fig. 286. — Levains avec aérobiose pour betteraves (Barbet).

Les caisses tubulaires avant emploi, sont soigneusement stérilisées à la vapeur (soupape J au récupérateur), ainsi que toutes les conduites de connexion ; l'effet de la vapeur est complété par l'injection d'un peu de formol, instantanément diffusé par la vapeur dans toutes les parties des appareils.

Le jus stérilisé refroidi est dirigé soit dans l'appareil à levains M. par la soupape L, soit à la cuverie par la soupape Y. Les jus doivent être distribués par tuyauteries, et non par nochères à air libre, afin d'arriver sans contamination jusqu'aux cuves.

L'avantage de la méthode de stérilisation totale est le suivant : la destruction de la diastase saccharogénique permet de faire à la diffusion des jus à aussi haute densité que l'on veut, tandis qu'actuellement il est très difficile de fermenter à 4 degrés. Le jus de betteraves devient aussi docile que la mélasse, laquelle, comme on sait, fermente à des densités bien plus élevées.

Or, comme la dépense journalière de distillation est proportionnée au volume du vin, il y a grand intérêt à économiser une et même deux cuves par jour, grâce à des densités plus fortes. Cela constitue beaucoup plus d'économie que la stérilisation n'occasionne de dépense.

De plus, la diffusion elle aussi coûte moins de vapeur quand on ne tire que 120 p. 100 de jus, que lorsqu'on tire 160, 180 et 200 p. 100 comme on le fait quelquefois en distillerie. La sucrerie épuise bien avec des extractions de 115 et même 110 p. 100 ; c'est aussi facile en distillerie si on le veut.

Nous faisons une économie de moitié d'acide, grâce à la fois à la stérilité du jus et à son moindre volume ; le jus n'a plus besoin d'une aussi forte protection contre les bactéries.

Un autre avantage consiste à ne plus mettre du tout d'acide dans les diffuseurs, et à diffuser à l'eau si l'on veut, puisque les germes butyriques ou autres sont tués par le stérilisateur ; donc plus d'usure des tôles perforées, et plus de formation de sel de fer antiseptique.

Enfin, en début de campagne, le premier pied de levain ne peut plus refuser de partir. Nous rappelons notre conseil de faire le premier levain à la mélasse, pour ne mettre la diffusion en route que lorsqu'on est sûr d'avoir un bon levain pur disponible.

Une fois la fermentation bien établie dans l'appareil à levains, il n'y a besoin que de quatre à six heures pour former chaque levain, par conséquent l'on produit de quatre à six levains par vingt-quatre heures. Si les cuves sont nombreuses, on n'aura qu'un levain sur deux, ou même sur trois cuves, ce qui ne semble pas avoir d'inconvénient ; on coupera donc la cuve qui a reçu un levain avec sa voisine. Si l'on désire un levain pour chaque cuve, il faut deux appareils à levains.

Nous avons installé ce procédé pendant la campagne dernière à la distillerie de Marquette-lez-Bouchain, où il a fonctionné régulièrement en donnant les avantages que nous venons de résumer. En particulier l'on a pu, sur les levains purs, amener le jus à toute vitesse et remplir rapidement la cuve sans tuer la fermentation, ce qui serait advenu infailliblement avec des jus non débarrassés de leur diastase saccharogénique.

Application du procédé à la distillation des Mélasses. — La première idée consisterait à faire un travail analogue à celui que nous venons de voir pour la betterave ; on remplacerait les bacs

mesureurs de jus par deux grandes cuves à diluer la mélasse à 1.080 ou davantage, et les opérations se suivraient dans le même ordre, sauf qu'on ferait réellement bouillir le stérilisateur, afin de dénitrer la mélasse.

Mais le dénitrage ne se fait pas bien en mouts dilués, parce que l'acidité n'est plus assez forte. Aussi avons-nous modifié le procédé comme suit (fig. 287) :

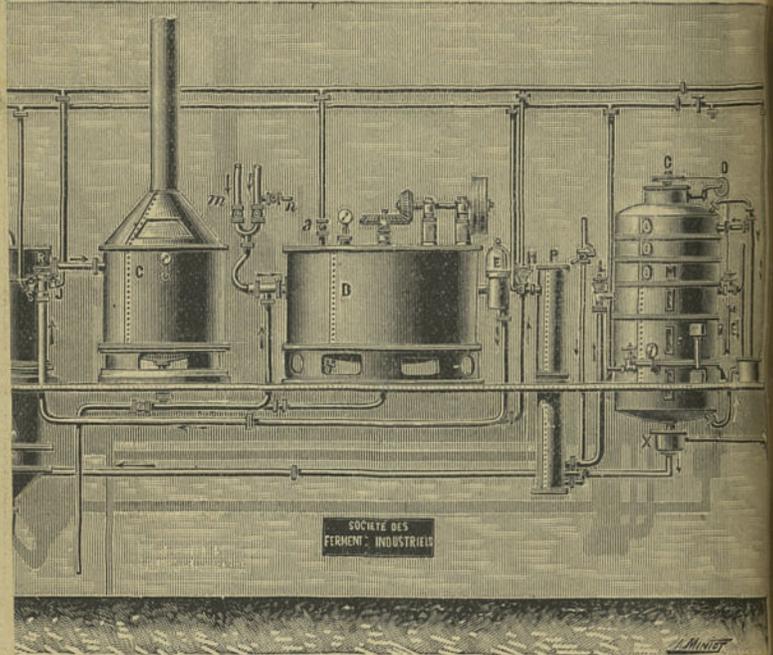


Fig. 287. — Levains avec aérobose pour mélasses (Barbet).

A sont deux cuves de dilution à 28-30° B., avec un peu d'eau et la totalité de l'acide sulfurique nécessaire à la fermentation, *b* est un bac régulateur d'alimentation, B le récupérateur. La mélasse échauffée à 80° environ par ce récupérateur, entre au dénitrant continu C, où elle subit une ébullition de quinze à vingt minutes avant de sortir à continu par le fond de l'appareil.

De là, au lieu d'aller au récupérateur, elle se rend à un délayeur D, en cuivre, fermé par un couvercle en fonte, et muni d'un mouvement mécanique d'agitateur. Pour diluer la mélasse bouillante on emploie de l'eau chaude des condenseurs, et même une certaine proportion de vinasse bouillante; ces liquides sont

réglés respectivement par les robinets *n* et *m*, et se mélangent à la mélasse avant l'entrée dans le délayeur dans une sorte de mélangeur.

La température de la dilution est en général de 80°. On peut l'augmenter un peu avec une injection de vapeur; mais, en somme, eu égard à la présence de l'acide, la température de stérilisation efficace n'est pas très élevée, et les 80° font une purification pratiquement suffisante pour la courte durée de la fermentation industrielle.

A la sortie est une éprouvette E où l'on constate en permanence la densité et la température, 1060 à 80° font 1082 à 21°, température de l'envoi à la cuverie.

Au sortir de cette éprouvette, le moût dilué retourne au récupérateur B de tout à l'heure pour échauffer la mélasse à dénitrer. De là enfin il passe au réfrigérant V et à la cuverie.

Pour les levains M, on prélève directement sur le délayeur D du moût que, pour la circonstance, on réchauffe jusqu'à 97-98° afin d'avoir une stérilisation plus certaine. Régulé par la soupape H, ce moût se refroidit dans le réfrigérant spécial P, et entre par L dans l'appareil à levains. Cet appareil fonctionne comme nous l'avons vu plus haut. On peut s'arranger pour envoyer dans D un peu de sirop de maïs saccharifié à l'acide et filtré, afin de fournir à la levure quelques éléments plus favorables que ceux de la mélasse seule; ou bien l'on se contente d'ajouter du maltopeptone (voir page 622).

L'emploi des levains très actifs permet de charger les cuves à très haute densité, jusqu'à 1100, ce qui économise du charbon pour le travail de potasserie. Cette même activité de fermentation permet d'arriver à peu près au même but par le remploi d'une certaine proportion de vinasse au délayeur. Si, par exemple, on fait rentrer 1/4 de vinasse, il n'y a plus que 3/4 du volume des vinasses à évaporer, et une fois le régime établi, ces 3/4 contiennent la totalité des sels et des matières organiques qui doivent sortir chaque jour du travail; les vinasses sont donc plus concentrées et l'évaporation demande d'autant moins de charbon.

Enfin les levains purs permettent de diminuer la dépense d'acidité, d'enrichir le salin en carbonate de potasse, et d'obtenir des flegmes plus purs.

Ne connaissant pas bien les résultats fournis par le nouveau système à aérobiose de M. Barbet, nous ne pouvons ni le critiquer ni en faire l'éloge. Nous nous contenterons d'exprimer

quelques craintes que nous avons au sujet de son fonctionnement régulier.

Avant tout on remarquera que M. Barbet se contente pour la stérilisation des moûts à levains d'une température de 98°; c'est contraire à ce que nous avons conseillé au chapitre de la fermentation (443). Pour justifier cette basse température, M. Barbet nous dit que les moûts étant acides, cette température doit suffire, car on a constaté que les moûts chauffés jusqu'à ce point étaient stériles. Nous n'y contredisons pas. Mais les vases dans lesquels on vient de stériliser le moût sont-ils également stériles? Oui, sans doute, dans les parties mouillées par le liquide; mais dans les parties non mouillées les microbes ne sont pas tués, et ce sont eux qui viendront ensuite contaminer le moût stérile, surtout si on opère dans un appareil continu.

Au sujet de la circulation du moût à levains sur les plateaux, il est à remarquer que certaines levures ont une grande tendance à se coller au fond des vases. Il est donc à craindre que la levure ne se dépose sur les plateaux et ne refuse de suivre le mouvement du liquide (malgré les brosses), surtout si on a affaire à une levure de vin qui est une levure basse et dont les cellules tendent constamment à gagner le fond du liquide. A part les autres inconvénients que cela peut avoir, il est certain que la levure ainsi collée sur les plateaux ne participera guère à l'aérobiose.

Encore une fois, ce ne sont que des craintes que nous exprimons, et nous souhaitons de tout cœur que l'inventeur réussisse.

LIVRE VI

Distillation et rectification. Raffinage des alcools

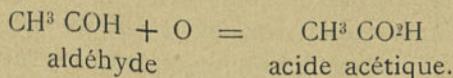
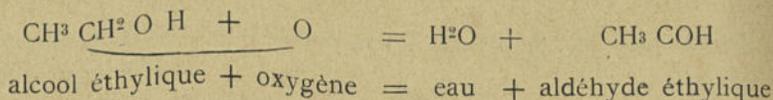
CHAPITRE XXX

Distillation

522. La fermentation a transformé le sucre en alcool, acide carbonique, glycérine et acide succinique.

L'alcool qui se produit dans la fermentation est l'alcool éthylique ou hydrate d'éthyle $C^2 H^3 CH^2 OH = C^2 H^5 OH$. Dans une fermentation parfaite, il ne devrait se former aucun autre alcool, mais il se produit toujours, en très petites quantités, d'autres alcools appartenant à la même série et qu'on appelle des alcools homologues supérieurs. Il se produit aussi des acides directement par l'action de la levure ou par l'action des bactéries : acides acétique, butyrique etc. On sait que l'acide acétique dérive de l'alcool éthylique par oxydation, et qu'entre eux il se forme un produit intermédiaire qui est l'aldéhyde éthylique. De même l'acide butyrique dérive de l'alcool butylique $C^3 H^7 CH^2 OH$.

L'alcool éthylique donne :



Les acides acétique, butyrique, etc., agissent en outre sur les alcools pour donner des éthers.

Le liquide fermenté qu'on appelle *vin*, renferme tous ces produits; il s'agit d'en extraire l'alcool. Ce travail se fait généralement par deux opérations successives : 1° la *distillation*, qui fournit de l'alcool impur dit *flegme*; 2° la *rectification*, qui fournit de l'alcool dit *extra-fin*.

Aussitôt la fermentation achevée, on doit procéder à la distillation, car l'acidité continue d'augmenter, il se produit des pertes par évaporation, et, enfin, il se forme des alcools supérieurs, notamment de l'alcool amylique $\text{C}^4 \text{H}^9. \text{CH}_2 \text{OH}$. (§ 24, p. 23.)

D'après M. Lindet, la plus grande partie des alcools supérieurs est, pendant la fermentation alcoolique, produite par des organismes étrangers à la levure, et ces alcools se forment surtout à la fin de la fermentation, au moment où la levure termine son œuvre et où ces organismes tendent à se développer.

M. Lindet a trouvé dans 100 l. d'alcool les quantités suivantes d'alcools supérieurs :

Au bout de	0 à 14 h.	0,36 cmc.
	14 à 20 h.	0,54 cmc.
	20 à 38 h.	0,88 cmc.

On peut conclure de ces chiffres que, plus on attend pour distiller le vin, plus on s'expose à avoir des alcools supérieurs comme impuretés et à diminuer le rendement en alcool éthylique bon goût.

La distillation consiste à séparer une substance volatile d'une ou plusieurs autres substances moins volatiles. Ainsi, l'alcool éthylique a, à toutes les températures, une tension de vapeur supérieure à celle de l'eau; quand on fait bouillir un mélange de ces deux liquides, l'alcool passe plus vite que l'eau, et on peut ainsi séparer les deux liquides. Mais les choses ne se passent pas aussi simplement qu'on le croyait primitivement, et il est nécessaire d'étudier la question de plus près.

Lois de la distillation simple

523. Il est très important de connaître les lois de la distillation simple. Ces lois varient suivant que les liquides sont miscibles ou non miscibles l'un dans l'autre.

1° *Distillation simple de deux liquides non miscibles.* — Lorsque les deux liquides ne sont pas *miscibles*, c'est-à-dire qu'ils ne se mélangent pas ou ne sont pas *solubles* l'un dans l'autre, chacun des deux corps se volatilise comme s'il était seul. Les deux liquides ne pouvant exercer aucune action réciproque, par suite de leur insolubilité, le mélange suit la loi de Dalton, c'est-à-dire que la tension *maxima* du mélange des vapeurs est égale à la somme des tensions des composants.

L'ébullition du mélange doit donc se produire quand la somme des tensions de vapeur des deux liquides fait équilibre à la pression extérieure. Elle a donc lieu à une température inférieure à la température d'ébullition du corps le plus volatil, et l'écart entre la température d'ébullition de ce dernier et celle du mélange peut parfois être très grand. On peut prévoir *a priori* la composition du liquide distillé.

En effet, en appelant g et G les poids des deux liquides passant simultanément à la distillation; t et T les tensions maxima des liquides à séparer, et d et D leurs densités de vapeur, on a

$$\frac{g}{G} = \frac{t d}{T D}.$$

Les densités de vapeur étant proportionnelles aux poids moléculaires m et M , cette relation peut s'écrire $\frac{g}{G} = \frac{m t}{M T}$.

Naumann a constaté que ces relations se vérifient très sensiblement. Si nous prenons par exemple de l'eau dont le poids moléculaire est très faible et de la naphthaline dont le poids moléculaire est très grand, nous aurons $G = \frac{g \cdot M T}{m \cdot t}$; grâce au poids moléculaire élevé de la naphthaline, il passera beaucoup de ce corps à la distillation, malgré la faiblesse de sa tension de vapeur.

C'est pour cela qu'un grand nombre de corps distillent si facilement dans un courant de vapeur d'eau. c'est à cause de la faiblesse de son poids moléculaire que la vapeur d'eau entraîne les corps à poids moléculaire élevé.

Les corps faisant partie d'une même série homologue sont

d'une séparation très difficile par la distillation fractionnée, car, tandis que la tension de vapeur diminue avec chaque addition de CH_2 , le poids moléculaire s'élève.

Il est à noter que tant qu'il y a de l'eau, la rectification est inutile, et ne peut rien changer.

Par contre, si l'on diminue la pression, la différence entre les tensions de vapeur de liquides différents augmente, tandis que les poids moléculaires restent constants : les corps peuvent dès lors se séparer plus facilement.

2° *Distillation simple de deux liquides miscibles ou solubles l'un dans l'autre.* — Dans ce cas les lois de la distillation sont beaucoup plus complexes. La formule $\frac{g}{G} = \frac{m t}{M T}$ ne peut plus s'appliquer directement. La tension du mélange n'est plus égale à la somme des tensions maxima des deux corps isolés, et la solubilité réciproque de ces deux corps influe d'une façon absolue sur la composition de la vapeur émise par le mélange : non seulement la température d'ébullition, mais aussi les proportions relatives des deux corps modifient complètement la composition du distillat.

Les lois des attractions moléculaires qui entrent en jeu dans la dissolution nous sont encore peu connues, à preuve la contraction encore inexpiquée des mélanges d'eau et d'alcool.

Wüllner a étudié les tensions des mélanges de vapeur d'eau et d'alcool. Voici les chiffres qu'il a trouvés :

TABLE DE WULLNER

Température	FORCES ÉLASTIQUES					F ₁ F + F'	F ₂ F + F'	F ₃ F + F'
	Eau	Alcool	1 Alcool 8 Eau	1 Alcool 1 Eau	0,5 Alc ¹ 1 Eau			
	F	F'	F ₁	F ₂	F ₃			
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.			
11,8	10,32	29,75	28,00	23,90	21,00	0,699	0,597	0,520
20,5	17,93	49,05	46,08	39,26	35,41	0,686	0,587	0,528
30,4	32,27	84,10	79,25	68,76	62,00	0,681	0,591	0,533
40,0	54,90	137,00	130,16	116,76	103,25	0,677	0,599	0,530
50,5	94,31	225,00	216,78	189,86	173,98	0,677	0,595	0,545
60,3	151,25	354,68	342,35	300,75	277,38	0,676	0,594	0,547
70,0	234,12	543,10	526,25	463,55	376,45	0,677	0,595	0,541
80,4	360,49	824,86	800,76	705,67	642,81	0,675	0,595	0,542
81,7	380,63	873,81	849,07	747,73	682,41	0,677	0,596	0,544
			Moyenne.			0,681	0,594	0,537

On voit que la tension maxima du mélange ne peut se déduire de celle des composants à la même température : elle est tantôt supérieure, tantôt inférieure à celle du composant qui a la tension la plus forte : « Tout au plus voit-on que pour chaque mélange déterminé, le rapport de la force élastique du mélange à la somme des forces élastiques des deux constituants a une valeur sensiblement constante, tout au moins quand les liquides sont en proportion à peu près égale. Dès qu'on s'éloigne de l'égalité, cette relation cesse rapidement d'être exacte.

» On ne peut donc à *priori* dire à quelle température commencera à bouillir un mélange de deux liquides dont on connaît les points d'ébullition respectifs, ni quelle proportion de chacun d'eux existera dans le liquide distillé » (E. Sorel) (1).

Si on désigne par P_t la tension d'ébullition, par p_t la tension maxima d'un des constituants, par p_1 , t celle de l'autre, et α le coefficient de réduction de la tension, on a

$$P_t = \alpha (p_t + p_1)$$

D'après les résultats de Wüllner, le coefficient α est variable, suivant la proportion d'alcool et d'eau dans le mélange, mais, par contre, complètement indépendant de la température pour des mélanges de plus de 30 p. 100 d'alcool en poids.

Pour une faible richesse alcoolique, l'indépendance ne persiste pas dans les limites de température de 50 à 100; par contre, on observe une petite variation avec la température dans les limites de 10 à 50°.

M. F. Pampe, ingénieur à Halle-sur-Saale, a utilisé les valeurs de α trouvées par Wüllner, et, par la méthode graphique, il a établi les mêmes coefficients pour les autres mélanges alcooliques.

En multipliant les coefficients α par la somme des tensions de saturation des vapeurs des mélanges d'eau et d'alcool absolu, on obtient la tension de saturation des vapeurs du mélange pour les différentes températures. En examinant de plus près les valeurs de α , on observe que celles-ci, pour des vapeurs d'eau et des vapeurs d'alcool dans le mélange, ne peuvent pas être égales; qu'on n'a pas $P_t = \alpha p_t + \alpha p_1$, mais qu'il faut mettre pour α deux valeurs différentes. En désignant celles-ci par d et e , on a

$$P_t = d p_t + e p_1$$

(1) *La Rectification*. Encyclop. Léauté.

Les poids de vapeur qui distillent d'un mélange de 2 liquides non nuisibles sont donnés par la formule

$$\frac{g}{G} = \frac{m \ p_t}{M \ p_1 \ t}$$

Cette formule ne peut être employée pour les liquides miscibles, parce que, dans le mélange des vapeurs, les tensions de saturation $d \ p_t$ et $e \ p_1 \ t$ ne sont pas applicables. Les coefficients d et e peuvent cependant être calculés au moyen des valeurs trouvées par Wüllner. Au moyen de ces chiffres, Pampe a calculé les richesses en alcool des vapeurs qui se dégagent pendant l'ébullition d'un liquide alcoolique.

Groening est le premier qui ait dressé une table donnant la température d'ébullition d'un mélange d'eau et d'alcool et la richesse alcoolique des vapeurs dégagées par ce liquide. Pampe a donné une table analogue, mais par des calculs basés sur les résultats de Wüllner. Puis Dönitz a complété par des expériences la table de Groening. Cette table concorde très bien avec celle de Pampe, ce qui prouve que les expériences de Wüllner et de Dönitz ont été bien faites, et que les calculs de Pampe sont exacts. Mais Wüllner, Groening, Dönitz, ont opéré dans des appareils exposés au refroidissement par contact avec l'air et par rayonnement. Les condensations qui se produisent sur les parois peuvent changer les résultats.

Pour éviter cette cause d'erreur, M. Sorel opère de la façon suivante :

Une grande cornue en verre ou en métal est entièrement immergée dans un bain formé par un liquide dont le point d'ébullition est plus élevé que celui du liquide le moins volatil contenu dans le mélange à étudier (bain d'eau glacée ou de glycérine). On porte à l'ébullition et on recueille successivement par lots séparés chaque dixième ou chaque vingtième. De la composition du mélange initial et de celle de chaque lot successif, on déduit la composition du liquide restant. Portant, sur l'axe des abscisses, les volumes distillés, sur celui des ordonnées la richesse du liquide restant, on a la courbe de l'épuisement du liquide en expérience. On réitère l'expérience en partant de diverses compositions initiales, et on a ainsi une série de courbes d'épuisement. Autant de courbes, autant de vérifications.

M. Sorel a tracé deux diagrammes, l'un donnant les richesses des vapeurs correspondantes aux richesses du liquide, et l'autre

représentant la loi de l'épuisement. Les courbes en trait plein (fig. 288 et 289) s'appliquent à l'alcool éthylique dans le cas où la vapeur dégagée par le liquide est complètement à l'abri de toute condensation.

Il est clair que si la surface de l'appareil distillatoire exposée au refroidissement est grande vis-à-vis du volume de liquide à distiller, il y aura condensation d'une partie des vapeurs, et celles-ci s'enrichiront, par rectification, au contact du liquide condensé. Les courbes en pointillé démontrent ce que devient la loi quand on se sert de la table de Grœning établie dans ces conditions.

On voit à l'inspection des deux courbes d'épuisement que le refroidissement des parois diminue d'une façon énorme la quantité de liquide à recueillir pour abaisser le degré dans la chaudière d'une quantité donnée.

En d'autres termes, un petit alambic donne, toutes choses égales d'ailleurs, un alcool plus concentré qu'un gros alambic de même forme. Ou encore, on comprend qu'en poussant très lentement le feu, on peut obtenir de premier jet de l'alcool relativement concentré. (E. Sorel. *La Distillation.*)

Il est évident que, le liquide alcoolique allant en s'appauvrissant à chaque instant, la richesse alcoolique des vapeurs ne peut être considérée comme constante que pendant un temps infiniment petit, et que le volume d'alcool, a , passé à la distillation pendant le passage d'un certain volume V , est donné par une

formule de la forme $a = \int_0^V r \, dv$, r étant la richesse alcoolique variable de chaque petit volume dv . Pratiquement, si on appelle r_1 la richesse des vapeurs du commencement de la distillation et r_2 leur richesse à la fin de la distillation, on pourra, si la différence entre ces deux richesses est très faible, admettre que le liquide conserve une richesse constante $\frac{r_1 + r_2}{2} = r$.

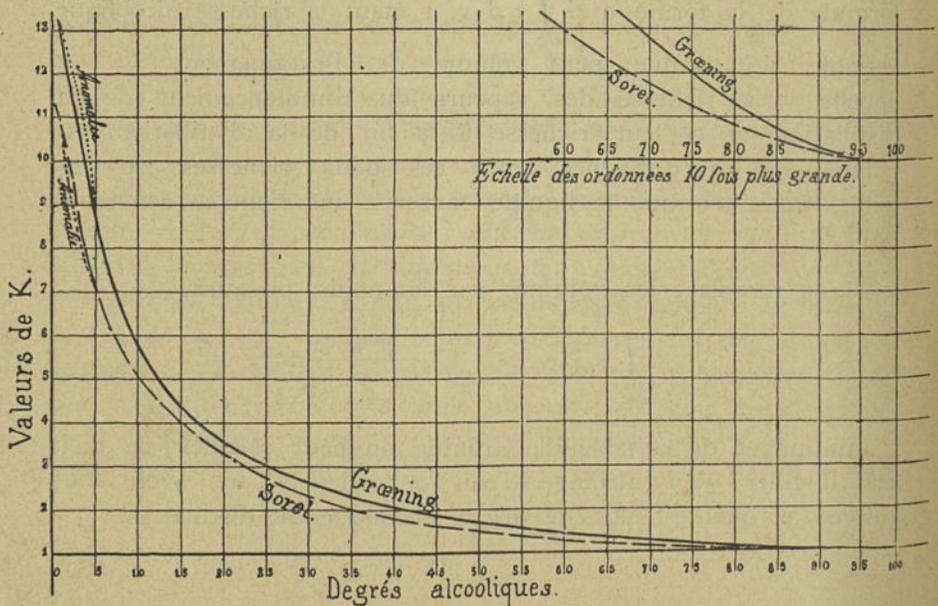
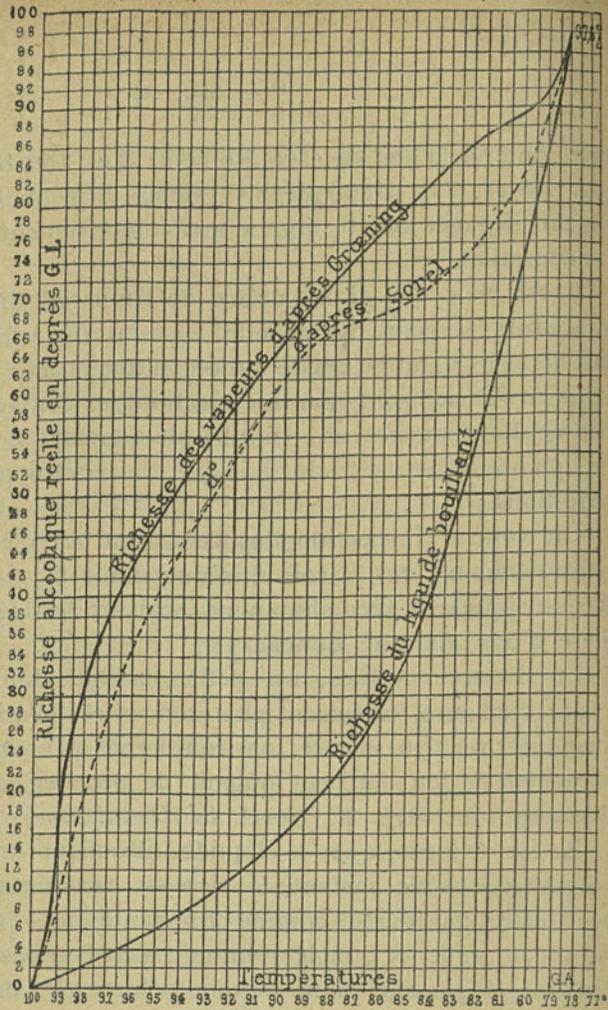
Si on remplace les volumes par les poids, on aura

$$a' = \int_0^P c \, dP. \quad \frac{c_1 + c_2}{2} = c$$

Au moyen de la table de Grœning on peut calculer ce qu'il faut distiller d'un mélange d'eau et d'alcool pour avoir tout l'alcool, et quel est alors le degré alcoolique du distillat.

GRAPHIQUE DE LA TABLE DE GRÖENING

Le graphique ci-contre donne les résultats des expériences de Gröening et de Sorel. — De ces chiffres on déduit les coefficients K de rectification de l'alcool aux différents points de l'échelle des richesses alcooliques, c'est-à-dire les rapports des richesses alcooliques des vapeurs aux richesses alcooliques des liquides. Ces valeurs de K sont représentées par les courbes ci-dessous qui ont la forme d'une hyperbole rapportée à ses asymptotes perpendiculaires.



TABLES DE GRÖNING ET DE SOREL

Richesse alcoolique du liquide	Température d'ébullition	DEGRÉ DES VAPEURS		Richesse alcoolique du liquide	Température d'ébullition	DEGRÉ DES VAPEURS	
		d'après SOREL	d'après GRÖNING			d'après SOREL	d'après GRÖNING
0	100,00	0	0	46	83,30	73,75	84,1
1	99,00	9,90	13,0	48	83,06	74,35	84,6
2	98,17	17,70	28,6	50	82,82	74,95	85,1
3	97,40	25,20	35,0	52	82,58	75,58	85,5
4	96,65	31,25	39,9	54	82,35	76,22	86,0
5	95,90	35,75	43,4	56	82,14	76,86	86,4
6	95,17	39,30	46,7	58	81,92	77,50	86,9
7	94,47	42,60	49,8	60	81,70	78,17	87,3
8	93,80	45,50	52,3	62	81,52	78,86	87,6
9	93,20	48,40	54,5	64	81,34	79,56	88,0
10	92,60	51,00	57,2	66	81,16	80,28	88,3
11	92,10	53,45	59,0	68	80,98	81,05	88,6
12	91,60	55,75	60,8	70	80,80	81,85	89,0
13	91,12	57,45	62,4	72	80,65	82,75	89,3
14	90,64	59,80	64,0	74	80,45	83,65	89,6
15	90,20	61,50	65,4	76	80,27	84,55	90,0
16	89,80	62,96	66,8	78	80,09	85,48	90,3
18	89,00	64,95	69,2	80	79,92	86,49	90,6
20	88,30	66,20	71,3	82	79,74	87,50	91,0
22	87,73	67,00	73,0	84	79,57	88,53	91,3
24	87,18	67,70	74,4	86	79,41	89,59	91,6
26	86,65	68,20	75,8	88	79,25	90,67	92,1
28	86,16	68,75	77,0	90	79,12	91,80	92,6
30	85,59	69,26	78,1	92	78,98	93,25	»
32	85,32	69,77	79,2	93	78,90	93,80	»
34	84,96	70,30	80,1	94	78,83	94,50	»
36	84,64	70,87	80,7	95	78,75	95,35	95,40
38	84,36	71,43	81,6	96	78,68	96,20	»
40	84,08	71,95	82,3	97	78,61	97,10	»
42	83,81	72,50	83,0	97,6	78,55	97,60	97,60
44	83,56	73,12	83,6	98	78,56	98,00	»

Si on appelle a le poids du liquide alcoolique contenu dans l'alambic, m la richesse alcoolique pondérale, b le poids d'alcool contenu dans l'alambic, c la richesse alcoolique pondérale moyenne, P le poids du distillat, x le poids de l'alcool absolu, r le degré alcoolique du résidu du liquide de l'alambic à la fin de la distillation, on a

$$b = \frac{P \cdot c}{100} + (a - P) \frac{n}{100}$$

alcool dans le liquide primitif = alcool vaporisé + alcool resté dans l'alambic.

$$100 b = Pc + a \cdot n - P \cdot n$$

$$P(c - n) = 100 b - an \quad P = \frac{100 b - a \cdot n}{c - n} \quad (1)$$

Si on veut calculer x , on a $x = \frac{P \cdot c}{100}$

$$x = \frac{100 b - a \cdot n}{100 - n \frac{100}{c}} \quad (2). \text{ Pour } n = 0, \text{ on a } x = \frac{100 b}{100} = b$$

ce qui est évident.

Cette formule peut aussi s'écrire en substituant la valeur

$$b = \frac{am}{100}.$$

$$x = \frac{a(m - n)}{100 - n \frac{100}{c}}$$

Pour P , on a, en substituant également

$$P = \frac{100 \frac{am}{100} - an}{c - n} = \frac{a(m - n)}{c - n}$$

Exemple : Pour un moût à $14^{\circ}v = 11,3p$ donnant au début des vapeurs à $56,2$ et à la fin 0 , soit en moyenne $\frac{56,2}{2} = 28,1$, il

faudrait distiller un poids $P = \frac{100(m - 0)}{C - 0} = \frac{1130}{28,1} = 40 K 2$.

L'approximation est trop grossière. Maercker, d'après les calculs de Dœnitz, trouve qu'il faut évaporer seulement $34,98\%$ et que le degré alcoolique du liquide serait de $32,3$.

M. Sorel a, comme nous l'avons dit, établi une table pour le cas où la vapeur ne subit aucune condensation le long des parois. Nous donnons cette table à côté de celle de Gröning.

On voit que, dans les titres moyens, la richesse de la vapeur croit en progression arithmétique comme la richesse du liquide, mais il n'en est pas ainsi pour les titres élevés ni surtout pour les titres faibles.

M. Duclaux a étudié l'épuisement par distillation d'un mélange de 2 liquides, en distillant dans une cornue dont la panse rayonnait librement des mélanges d'eau et des premiers alcools de la série grasse.

En appelant a le volume d'un liquide mélangé avec un volume e d'eau. ($a + e$) étant le volume total du mélange, $d a$ et $d e$ les volumes du liquide et de l'eau dans les vapeurs ou le liquide distillé, m un coefficient variable pour chaque mélange, on a, pour établir les rapports de la richesse des vapeurs à la richesse du liquide générateur, la relation

$$\frac{d a}{d e} = m \frac{a}{a + e}$$

Si dans le mélange des vapeurs nous appelons A le volume de vapeur du liquide étudié, E le volume de la vapeur d'eau nous aurons

$$\frac{A}{E} = p \frac{a}{a + e}$$

p étant un autre coefficient également variable pour chaque mélange.

De ces rapports $\frac{A}{E}$ on peut déduire les rapports des tensions des vapeurs dans le mélange.

Ces formules ne sont applicables qu'à des mélanges d'un alcool et d'eau.

Le tableau suivant, de M. Duclaux, résume les valeurs de u et de p pour les principaux liquides mélangés à l'eau. Ces lois ne sont applicables que dans des limites de richesse alcoolique assez restreintes indiquées par le tableau.

En appliquant cette théorie, M. Duclaux a calculé, puis vérifié par l'expérience, que pour obtenir l'épuisement complet d'un liquide dans l'alambic simple, il faut distiller :

50 % d'un liquide à	5°
60 — — —	10
70 — — —	20
80 — — —	40
90 — — —	50

Il est très intéressant d'être bien fixé sur la façon dont se comportent des mélanges de liquides solubles l'un dans l'autre, lorsqu'on les porte à l'ébullition ou qu'on les fait traverser par un courant de vapeur.

Prenons comme exemple un cas simple, celui d'un mélange d'eau et d'un des alcools de la série grasse :

	BOLT A
L'eau	100°
L'alcool méthylique	66,3
— éthylique (ordinaire)	78
— propylique	97
— butylique	116
— amylique	132
— caprylique	158

Mettons 1 p. 100, par exemple, des cinq premiers alcools dans de l'eau, de façon que la température d'ébullition soit la même dans tous les cas. Laissons de côté l'alcool caprylique qui est trop peu soluble (§ 36) pour atteindre cette proportion sans se précipiter. Étudions la composition des vapeurs qui se produisent.

D'après les anciennes idées sur la rectification des alcools, cette opération serait basée sur la différence des températures d'ébullition des corps volatils, alcool, impuretés diverses et eau, qui composent l'alcool brut. D'après cela, ce devrait être l'alcool méthylique qui passerait le plus rapidement, puis l'alcool éthylique, puis l'alcool propylique, puis l'eau, l'alcool butylique et l'alcool amylique se concentrant dans le liquide résiduel.

Or, c'est précisément le contraire qui se produit. La formule de Duclaux

$$\frac{d a}{d e} = m \frac{e}{a \times e}$$

nous dit que le rapport du volume d'eau et d'alcool passant à la distillation est proportionnel à la richesse du liquide générateur.

Ce rapport, dans le cas qui nous occupe, sera :

Eau et alcool méthylique	$\frac{d a}{d e} = 0,109$
— éthylique	0,154
— propylique	0,209
— butylique	0,415
— amylique	0,496

de sorte que le liquide résiduel s'épuise d'autant plus vite que l'alcool étudié bout à une température plus élevée. Par exemple l'alcool amylique, quoique bouillant à 132° C, passe quatre, cinq fois plus vite que l'alcool méthylique qui bout à 66°.

En constatant que la distillation des mélanges ne suivait pas exactement l'ordre de volatilité, on croyait qu'elle était contrariée par les solubilités et les affinités des corps entre eux. Mais les solubilités différentes des alcools dans l'eau suffisent-elles pour rendre compte d'une pareille anomalie ?

Reprenons la formule de M. Duclaux

$$\frac{A}{E} = p \frac{a}{a \times e}$$

p a les valeurs suivantes :

Alcool méthylique	4,84	} moyenne	4,80
— éthylique	4,71		
— propylique	4,87		
— butylique	8,04	} moyenne	8,03
— amylique	7,98		
— caprylique	8,06		

Il y a bien une différence notable entre les trois premiers alcools solubles en toutes proportions dans l'eau, et les trois derniers, mais la solubilité et l'affinité ne suffisent pas pour tout expliquer, car l'alcool butylique est soluble à raison de 10 volumes dans 100 parties d'eau (§ 20, p. 22), l'alcool amylique de 4 environ (§ 24), l'alcool caprylique est presque insoluble, et cependant dans le mélange des vapeurs ces trois corps se substituent l'un à l'autre, *volume à volume*.

M. Duclaux déduit du rapport $\frac{A}{E}$ le rapport des tensions de vapeur des deux constituants alcool et eau, et, comme la somme des tensions est forcément égale à la pression barométrique, il en déduit la valeur absolue de ces tensions.

La conclusion est des plus intéressantes : la vapeur d'eau est dans tous les cas saturée, c'est-à-dire qu'elle a la pression qui correspond à la température d'ébullition du mélange. L'alcool considéré a la tension complémentaire.

Nous arrivons donc aux conclusions suivantes :

1° Il y a pour chaque alcool étudié une relation déterminée entre la composition du liquide générateur et la composition des vapeurs.

Cette relation est non seulement indépendante du point d'ébullition de l'alcool considéré, mais encore varie en sens inverse de ce point d'ébullition.

2° Chaque mélange bout à une température telle que l'eau ait précisément la tension correspondante à la température d'ébullition.

Tout se passe donc comme si la vapeur d'alcool considéré se comportait comme un gaz dissous dans le mélange bouillant. La seule différence avec la loi de solubilité des gaz, est que le taux d'alcool dissous influe sur la température d'ébullition et par suite sur la tension de la vapeur d'eau, d'où indirectement sur le taux de l'alcool dans les vapeurs.

Comme nous l'avons dit, les lois établies par M. Duclaux ne sont exactes que pour des liquides faiblement alcooliques. Elles cessent d'être vraies

Au-dessus de 25 p. 100 d'alcool éthylique.				
—	10	—	—	propylique.
—	4	—	—	butylique.
—	1,6	—	—	amylique.

Elles ne s'appliquent donc pas dans le haut des colonnes à distiller et à rectifier. Mais elles prouvent néanmoins que la loi de la distillation suivant les températures d'ébullition est fautive. Elles prouvent aussi que les alcools supérieurs, même solubles, ne peuvent rester dans les eaux résiduaires ou le loutter. M. Sorel a

constaté que quand on distille un mélange de 70 parties d'alcool propylique et de 30 parties d'eau, on obtient un résidu ne contenant que de l'eau.

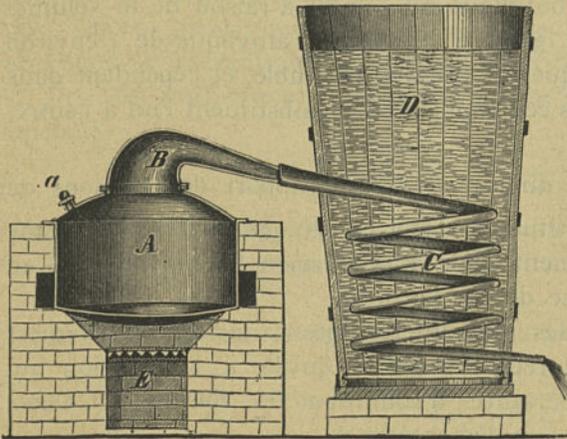


Fig. 290. — Alambic simple.

Appareils de distillation

524. L'appareil de distillation le plus ancien est l'alambic (fig. 290). Il se compose de

la chaudière A, chauffée par le foyer E, du chapiteau B ayant la

forme d'une cornue et du réfrigérant formé d'un serpentín C plongeant dans le vase D.

La condensation de la vapeur dans le serpentín et le refroidissement du liquide exigent une certaine quantité d'eau; Argand eut l'idée de faire la réfrigération par le vin froid en place d'eau. Il inventa ainsi le chauffe-vin dont nous parlerons plus loin; mais cet organe ne pouvait être sérieusement appliqué, parce que les opérations étaient discontinues. Il est évident que le vin ne s'échauffait plus qu'avec une lenteur extrême quand il était chaud; néanmoins le vin en arrivant dans l'alambic était chaud et il y avait de ce fait gain de temps et économie de charbon.

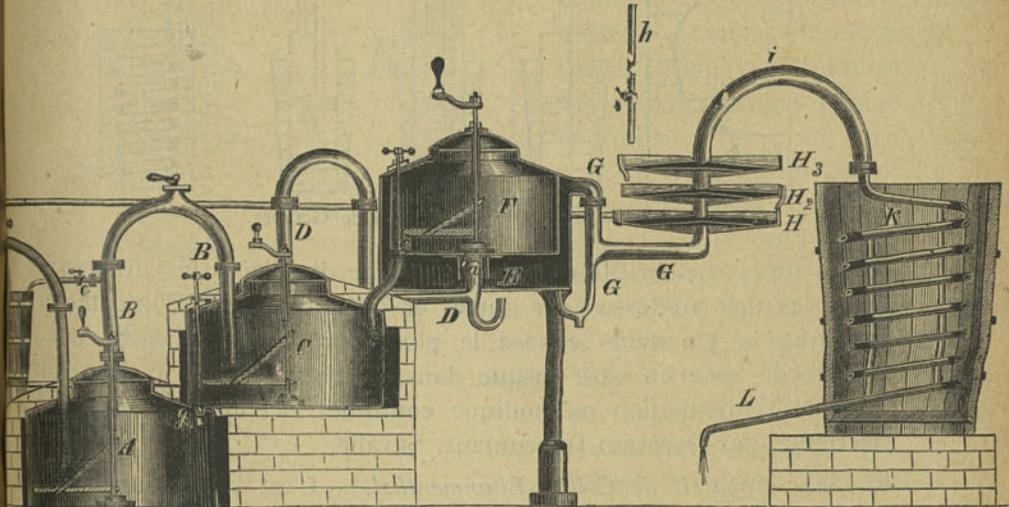


Fig. 291. — Ancien appareil allemand de Pistorius à plusieurs chaudières.

Au lieu de chauffer le vin en C (fig. 291) par surface, nous pouvons le chauffer en faisant passer directement dans le liquide la vapeur provenant de A. Le vase C est alors fermé et la vapeur barbotte dans le liquide de C. Au lieu d'un vase on peut en mettre deux et faire barboter en C la vapeur sortant de C. C'est l'appareil de Woolf appliqué à la distillation dans les appareils de laboratoire de Glauber (fig. 291 bis).

La fig. 291 bis représente l'appareil de Glauber. Il se composait d'une chaudière, d'un certain nombre de vases communicants entourés de liquides refroidisseurs, et d'un réfrigérant. On obtenait de l'alcool à un titre élevé sans recourir à la série de distillations que nécessitaient les alambics.

Vers 1790, Adam ayant vu fonctionner un appareil de Woolf dans un laboratoire, eut l'idée de l'appliquer à de grands alambics. Il disposa les vases en gradins ; le vin arrivant d'abord dans le vase supérieur passait successivement dans un vase placé plus bas. Dans ce trajet, il s'appauvrisait en alcool, puisqu'à chaque passage il se condensait plus d'eau que d'alcool. La distillation devenait ainsi méthodique ; comme dans une batterie de macération ou de diffusion, la vapeur la plus riche était toujours mise en contact avec le liquide le plus riche, et la vapeur la plus pauvre avec le liquide le plus épuisé.

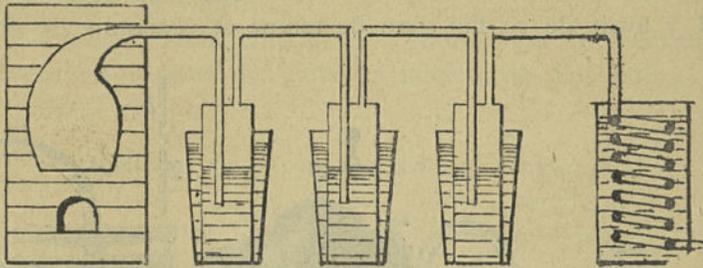


Fig. — 291 bis. — Appareil de Glauber.

En 1820, Cellier-Blumenthal eut l'idée de placer les différents vases les uns au-dessus des autres et de faire arriver d'une façon continue le vin dans le vase le plus élevé, pour le faire descendre de vase en vase jusque dans la chaudière ; il avait ainsi inventé la distillation méthodique continue. Cet appareil fut perfectionné par Derosne, Dubrunfaut, Savalle.

525. *Appareil de Cellier Blumenthal.* — C'est la plus ancienne de toutes les colonnes à distiller, et elle est à haut degré. La chaudière A est chauffée par de la vapeur d'un générateur ou par de la vapeur provenant d'une chaudière analogue placée en contre-bas. Sur la chaudière A est montée une colonne composée de la colonne d'épuisement B et de la colonne de concentration G. Le chauffe-vin U est horizontal et le réfrigérant R est un serpentín vertical (fig. 292).

La colonne B contient comme organes de méthodicité dix calottes placées chacune au-dessus d'une capsule concave dont le centre est évidé. Le vin descend donc en cascade. Pour avoir une répartition plus sûre du vin sur les calottes et les capsules, on a disposé un tissu métallique ou des fils d'Archal qui dépassent un peu la calotte convexe de manière que le vin tombe en pluie fine dans la capsule concave.

La colonne de concentration G porte six plateaux à une seule cheminée et une grande capsule. Le dernier plateau se vide par un tube latéral ; les autres

n'ont pour se vider que les cheminées.

L'alcool condensé dans le serpentin peut être envoyé au réfrigérant ou dans la colonne de concentration.

Cet appareil n'était pas tout à fait continu, parce l'écoulement de la vinasse se faisait d'une façon intermittente, mais il manque l'étape entre la continuité et les anciens appareils discontinus.

C'est cet appareil qui se répandit partout en France où l'on ne traitait guère que des moûts clairs de vin et de betterave. En Allemagne, où l'on ne traitait que des moûts épais, la distillation se fit longtemps par l'appareil de Pistorius (fig. 291) dans lequel des agitateurs permettaient de remuer la masse pour l'empêcher de se brûler au contact de la paroi chaude (1).

L'appareil Pistorius était discontinu. Cellier Blumenthal fit fonctionner sa colonne d'une façon continue, mais comme son système d'épuisement du vin tombant en cascade était mauvais, l'appareil n'épuisait pas. D'après Payen, le seul perfectionnement

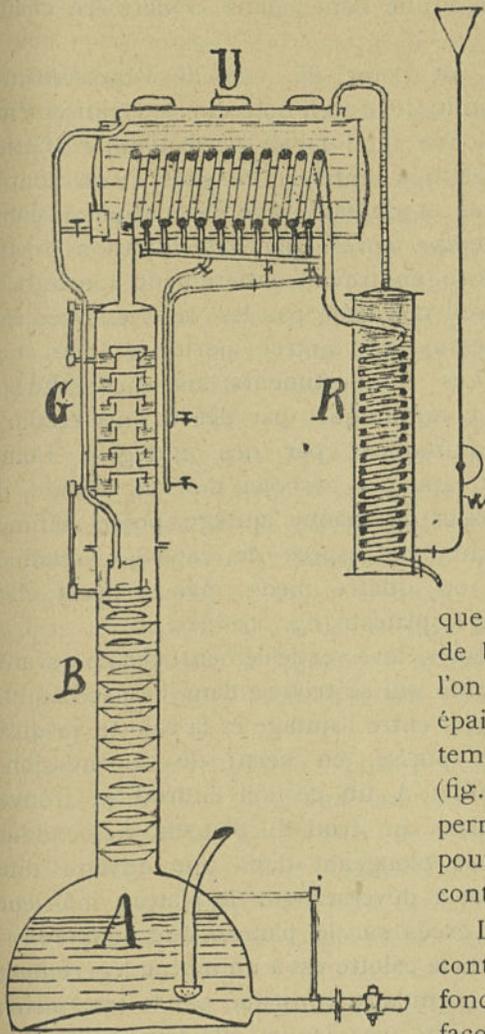


Fig. 292. — Appareil Cellier Blumenthal.

(1) Ce dernier appareil se distinguait en outre par un système spécial de déflegmateurs (voir plus loin à l'article condenseurs) H H₂ H₃ ayant la forme de lentilles creuses dans lesquelles passaient les vapeurs alcooliques. Chaque déflegmateur lenticulaire supportait un bassin ; l'eau arrivant par là remplissait ces bassins et produisait la condensation d'une partie des vapeurs alcooliques.

apporté par Derosne fut d'ajouter une deuxième chaudière comme dans l'appareil de Pistorius et de faire bouillir la vinasse durant trois quarts d'heure à une heure dans la dernière chaudière avant de l'évacuer.

C'était une amélioration au point de vue de l'épuisement, mais au point de vue de la continuité c'était un recul ; si l'épuisement était mauvais c'était la colonne qu'il fallait perfectionner. Cette faute de Derosne se fit longtemps sentir en ce sens qu'on continua de garder les chaudières et de faire une évacuation discontinue de la vinasse, longtemps après que l'amélioration de la colonne aurait permis de faire un travail entièrement continu.

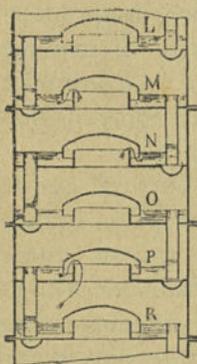


Fig. 292 bis.

L'appareil constitué par les vases empilés les uns au-dessus des autres porte le nom de colonne. Les compartiments ainsi constitués, au lieu de communiquer par des tuyaux recourbés, communiquent par des ajutages. Pour obliger la vapeur à barboter dans le liquide, il y a au-dessus de chaque ajutage, posée comme un chapeau, une espèce de capsule soutenue par trois ou quatre pieds, par lesquels elle repose sur le plateau (fig. 292 bis).

La vapeur s'élève verticalement, chasse devant elle le liquide qui se trouve dans l'espace annulaire compris entre l'ajutage et la calotte, jusqu'à ce qu'elle puisse, en vertu de sa pression, s'échapper à travers le liquide. A un certain endroit se trouve un bout de tuyau engagé dans un trou du plateau, descendant jusqu'au plateau inférieur et plongeant dans une cuvette dite godet. Ce bout de tuyau sert à déverser sur le plateau inférieur le liquide qui se trouve en excès sur le plateau que nous considérons. Le bord circulaire de la calotte est à un niveau légèrement inférieur à celui du déversoir annulaire constitué par le trop-plein ; la calotte plonge dans le liquide avec lequel elle forme un joint hydraulique, et la vapeur, pour pouvoir passer, est obligée de refouler devant elle le liquide jusqu'à ce que celui-ci, dans le voisinage de l'ajutage, soit descendu au niveau du bord circulaire de la calotte. A ce moment, la vapeur peut s'échapper à travers le liquide, qui exerce sur elle une poussée de bas en haut.

Plus le diamètre de la calotte est grand, plus faible est la hauteur du liquide déplacé et, par suite, la vitesse des vapeurs.

L'espace que parcourt le filet de vapeur dans le liquide

dépend de la poussée de celui-ci et de la vitesse de la vapeur. Sous l'influence de la poussée du liquide, la direction du filet se recourbe vers le haut. Si le diamètre de la calotte est trop grand et la vitesse de la vapeur trop faible, le filet de vapeur, soumis à la poussée verticale du liquide, est bientôt amené à la surface de celui-ci. La courbe que décrit le filet de vapeur est une parabole. Or, l'effet utile d'un plateau dépend précisément du contact intime entre la vapeur et le liquide; donc, pour avoir un contact aussi prolongé que possible, il faut que les filets de vapeur décrivent un très long espace dans le liquide des plateaux. On y arrive en évasant le bord de la calotte et en lui donnant une forme dentelée. De cette façon on fait parcourir à la vapeur un plus grand espace dans le liquide et l'effet sur le plateau s'en trouve augmenté.

Mais il est facile de voir que toute la place occupée par la calotte elle-même est perdue pour le barbotage, c'est-à-dire pour le passage de la vapeur à travers le liquide. Il n'y a que la zone circulaire entourant la calotte qui soit utilisée.

Pour augmenter l'effet utile du plateau, on a multiplié le nombre des calottes et on a forcé le liquide à circuler sur le plateau en décrivant un cercle (fig. 293). Champonnois a adopté une grande calotte à laquelle il a donné la forme d'une étoile à dix branches et à rebords dentelés (voir Colonne Champonnois et Barbier).

Enfin, pour multiplier encore les points de contact, on a percé le plateau d'un grand nombre de petits trous, 1.000 par exemple, ce qui a permis de supprimer complètement les calottes (fig. 294). Les espaces perdus occupés par celles-ci n'existant plus, l'effet utile du plateau devenait très grand, mais d'autres inconvénients surgissaient. Le moût devait être absolument limpide, sinon les trous se bouchaient; en outre, il ne pouvait être acide, sinon les trous s'agrandissaient rapidement.

Le plateau perforé ou *plateau-écumette* fut d'abord employé en Irlande par Coffey, distillateur à Dublin. Amand Savalle l'introduisit en France pour la distillation des moûts clairs de betterave et de mélasse; mais on fut obligé de l'abandonner. Aujourd'hui, il n'est plus employé que pour la rectification, où il donne d'excellents résultats quand on sait s'en servir d'une façon rationnelle.

Ce que nous venons de dire montre que les organes chargés d'assurer la méthodicité doivent être appropriés à la nature du moût à distiller.

S'il s'agit d'un liquide clair et neutre, on peut employer des plateaux perforés, comme l'a fait Coffey et comme on le fait encore en Angleterre pour les moûts servant à la préparation du genièvre et du whisky. Pour un moût clair acide, on emploiera de préférence les calottes multiples. Pour un moût très épais, ce genre de colonne ne convient pas ; il se bouche et il faut le

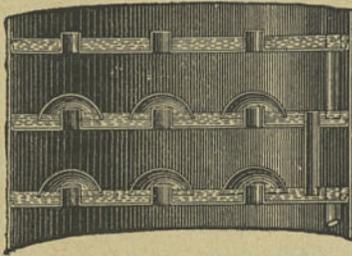


Fig. 293.
Plateau à calottes multiples.

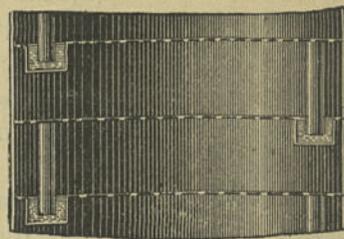
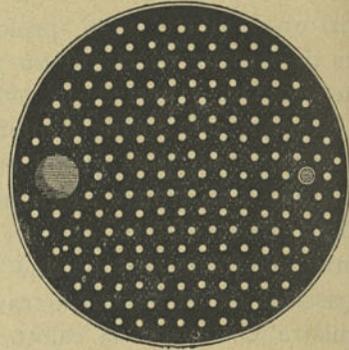


Fig. 294.
Plateau perforé ou plateau écumette.

simplifier. Devant les difficultés qu'on éprouvait dans l'emploi de ces calottes, on a cru que ces organes ne pouvaient pas servir, et on a remplacé ce genre de plateau par de simples chicanes : telles sont les dispositions d'Ilgès, de Collette, de Siemens, etc...

Dans la colonne d'Ilgès, le moût rencontre une série de chicanes disposées comme suit. Ce sont des diaphragmes, dont les uns *a* (fig. 295), formant une surface tronconique, n'occupent que la périphérie de la colonne, tandis que les autres *b* sont coniques et occupent le centre. Ces diaphragmes portent des nervures

qui font prendre au moût un mouvement giratoire, qui change de direction à chacun d'eux. Mais ici les séparations ne sont plus aussi nettes, il n'y a plus à proprement parler de compartiments comme dans la colonne à calottes, et il se forme en certains endroits des vides par lesquels la vapeur file sans être bien en

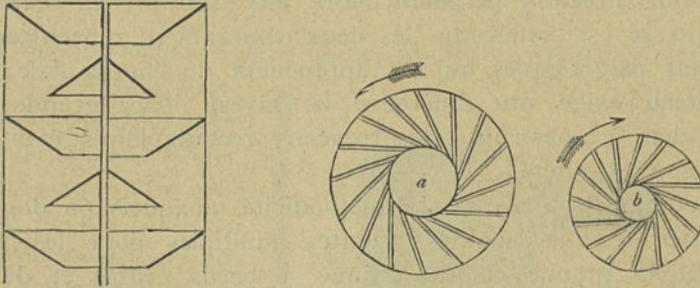


Fig. 295. — Chicanes de la colonne Ilges.

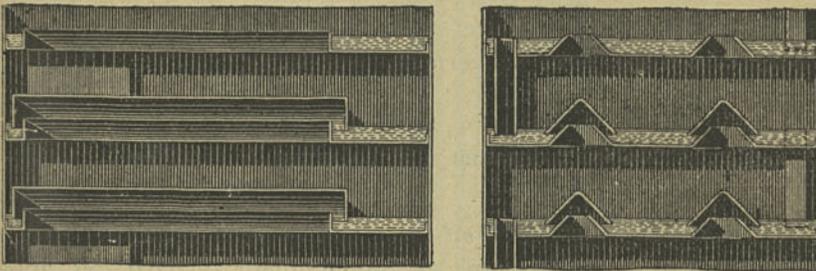


Fig. 296. — Plateau à calottes longues de Savalle.

contact avec le moût. L'effet utile de la colonne diminue beaucoup. Il se produit à peu près le même cas que pour la diffusion continue Perret (192). On peut en dire autant de la colonne Collette. Ici c'est une série de plateaux perforés rectangulaires fixés de toutes parts à la colonne, excepté d'un seul côté, par où le liquide descend sur le plateau immédiatement en dessous. De ce côté le bord du plateau est rabattu. Toute la colonne doit être pleine de moût.

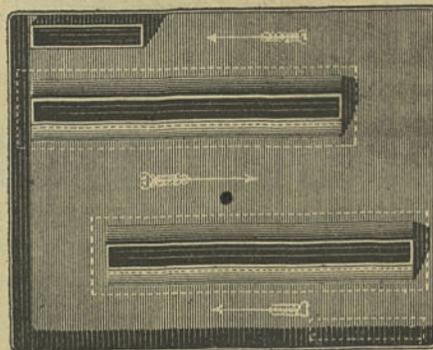


Fig. 297. — Vue en plan du plateau Savalle.

Pour éviter les obstructions et pouvoir déboucher facilement dans le cas où il s'en présente, Désiré Savalle a construit des calottes longues, avec grande circulation, ayant la forme représentée par les figures 296 et 297.

Le liquide, tombant sur le plateau, parcourt l'espace indiqué par les flèches et s'écoule par le trop-plein. La vapeur traverse le liquide en direction perpendiculaire aux calottes, en sorte que, si la vitesse est suffisante, les deux courants se rencontrent en deux jets paraboliques qui se rapprochent de l'horizontale. Mais ce plateau exige une différence de niveau assez grande et il coûte cher à construire, les tronçons rectangulaires étant plus difficiles à exécuter.

En somme les organes de méthodicité aux quels on donne la préférence sont les petites calottes multiples pour les moûts clairs et la grande calotte unique à bords évasés et dentelés pour les moûts épais. Pour éviter dans ce dernier cas les obstructions, il faut éviter toute stagnation du moût dans la colonne, c'est-à-dire assurer une vitesse de circulation très régulière, comme nous le verrons plus loin.

Principaux organes des colonnes à distiller

526. *Chauffage des appareils.* — Les anciens appareils étaient chauffés à feu nu ; ce système a complètement disparu des appareils industriels et ne s'emploie plus que dans les petits établissements où l'on distille des vins de raisins ; le chauffage à la vapeur est d'un emploi général dans les distilleries.

Le système de chauffage à vapeur le plus simple est celui du barbotage ; on l'emploie presque toujours quand il n'y a pas d'inconvénient à diluer la vinasse, par exemple pour les betteraves et les matières amylacées. Pour ces dernières il y a, en réalité, avantage à ne pas diluer la vinasse ; mais cette dilution est compensée d'une autre façon, comme nous le verrons. Pour les moûts de mélasse ce serait absurde de chauffer de cette façon, car la vinasse doit être ensuite évaporée pour récupérer les sels qu'elle renferme ; il faut dans ce cas chauffer par surface.

Pour le chauffage par surface on emploie un serpentin ou un faisceau tubulaire.

Le serpentin présente cet avantage, que la vitesse de circulation de la vapeur étant très grande, le coefficient de transmission

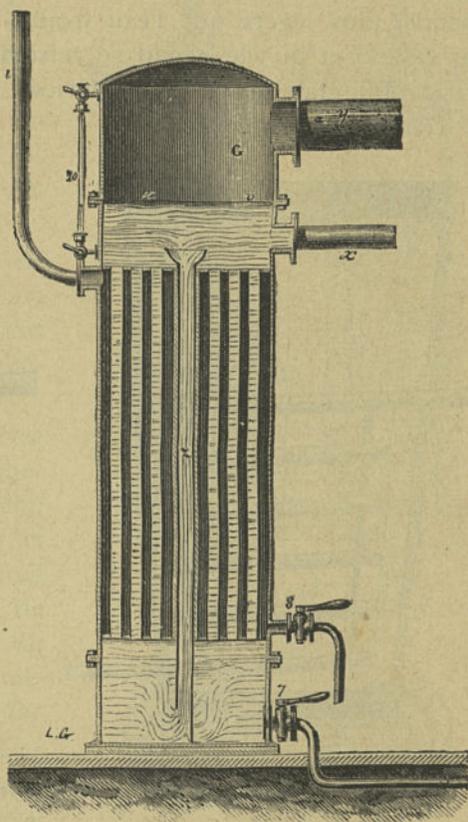
de la chaleur est élevé. On peut compter sur une transmission de 3 à 4.000 cal. par mètre carré, par heure et par degré de chute de température.

Mais comme le serpentin prend de la place, il exige de grandes chaudières; en outre, quand il est encrassé, il faut un grattage pénible pour le nettoyer. Enfin, des fuites se déclarent fréquemment aux joints.

527. *Chauffage tubulaire.* — Le liquide épuisé ou vinasse venant de la colonne arrive par le tube *x* (fig. 298) à la partie supérieure d'un faisceau tubulaire muni d'un tube de circulation *z* et s'écoule à la partie inférieure par le tuyau *7* qui maintient constamment le liquide au niveau *u v* au moyen du tube *10*. La vapeur de chauffage venant du régulateur par le tuyau *i*, se condense autour des tubes et l'eau condensée sort par le tuyau de purge *8*. La vapeur qui se dégage de la vinasse passe dans la colonne par le gros tube *y*.

La transmission de la chaleur est un peu moins rapide dans cet appareil que dans le serpentin; mais on peut adopter des surfaces de chauffe très grandes sans augmenter de beaucoup le volume extérieur de l'appareil. Il permet, par suite,

d'utiliser des vapeurs d'échappement à très basse pression malgré l'abaissement du coefficient de transmission à 2.000 et même à 1.000 calories (4 à 2 k. de vapeur) par mètre carré, par heure et par degré de chute. Par contre on ne peut plus faire le retour direct de l'eau condensée au générateur; il en résulte une petite perte, mais celle-ci est facilement compensée par l'utilisation des vapeurs d'échappement.



[Fig. 298. — Chauffage tubulaire de Savalle.

Cet appareil est commode à nettoyer. Il suffit de le vider, de défaire le couvercle supérieur, et de gratter les tubes avec des brosses métalliques, comme on le fait pour tous les chauffages tubulaires.

528. *Condenseurs et réfrigérants.* — Anciennement les condenseurs et réfrigérants étaient toujours constitués par un serpentin plongeant dans un vase rempli d'eau froide (fig. 299). Le niveau de l'eau dépassait beaucoup la hauteur du serpentin, en sorte que l'eau chaude, plus légère que l'eau froide, était constamment déplacée par celle-ci et qu'elle venait se refroidir à la partie supérieure. Le réfrigérant était installé à l'extérieur de la distillerie pour activer ce refroidissement.

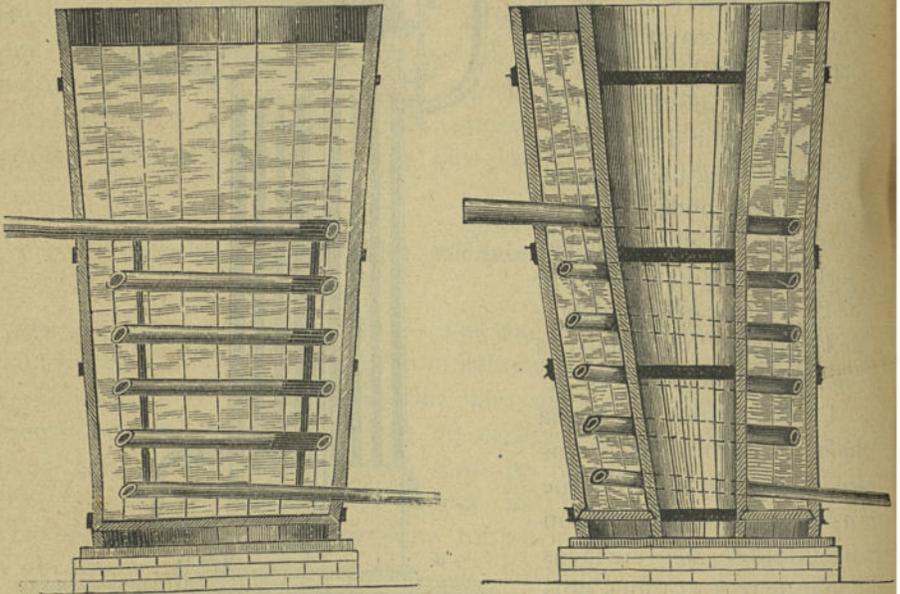


Fig. 299 et 300. — Réfrigérants anciens à serpentin.

Comme la colonne d'eau occupant le centre du réfrigérant travaillait fort peu, on améliora l'appareil en plaçant au centre un second vase qui restait vide (fig. 300). On fit ensuite circuler l'eau d'une façon continue en la faisant entrer froide par le bas et sortir chaude par le haut.

Aujourd'hui on emploie le plus souvent des appareils tubulaires, sauf le cas où l'on a plusieurs réfrigérants à réunir en un seul. Quand le liquide réfrigérant est un moût très épais comme dans le cas des chauffe-vins allemands, il pourrait se

former des dépôts et par suite des obstructions; dans ce cas, on préfère faire circuler le liquide à l'intérieur du serpentín et la vapeur alcoolique à l'extérieur.

Généralement le réfrigérant est ouvert à sa partie supérieure; la vapeur alcoolique circule autour des tubes et l'eau passe dans les tubes. Le nettoyage est très facile, même pendant la marche.

Quelquefois les tubes sont réunis à deux boîtes A B (fig. 301) et le tout est enfermé dans une enveloppe dans laquelle l'eau entre en C et en sort en D; la vapeur passe alors dans les tubes. Le nettoyage est moins commode; aussi ce système est-il beaucoup moins employé.

Quand il ne s'agit que de faibles surfaces de chauffe, on emploie aussi le réfrigérant annulaire formé de trois cylindres concentriques (fig. 302).

Le réfrigérant tubulaire avec circulation de l'eau dans les tubes est d'un emploi presque général dans les appareils à distiller et à rectifier. Quand cet appareil



Fig. 303.

Chauffe vin de la
Maison Fontaine.

reçoit, outre de la vapeur, du liquide alcoolique, il faut disposer dans l'espace intertubulaire des chicanes pour obliger le liquide à lécher les tubes. Nous avons vu souvent des réfrigérants qui refroidissaient très mal parce qu'ils recevaient un mélange de vapeur et de liquide et étaient dépourvus de diaphragmes obligeant le liquide à circuler méthodiquement au contact des tubes.

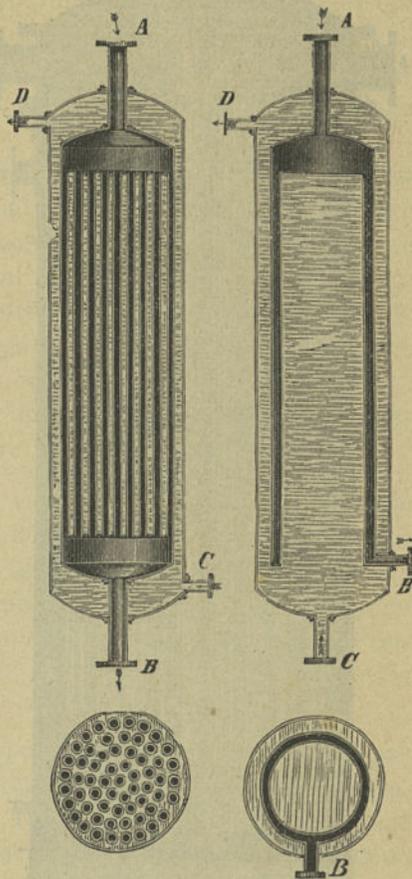


Fig. 301 et 302. — Réfrigérants tubulaires.

La fig. 303 représente un chauffe-vin tubulaire construit par la

maison Fontaine, de La Madeleine. Le vin froid arrive par le bas dans une partie conique, se répartit régulièrement dans tous les tubes et s'écoule à la partie supérieure par un tube recourbé dont l'embouchure est au centre.

529. *Récupérateurs de la chaleur des vinasses.* — La vinasse qui s'écoule des appareils sont au moins à 100° C et renferment par conséquent une notable quantité de chaleur. Champonnois, l'inventeur de la macération et de tant d'autres appareils et procédés, a eu l'idée de récupérer la chaleur de la vinasse en s'en servant pour échauffer le vin froid qui arrive dans l'appareil.

Le récupérateur de la chaleur des vinasses est ordinairement constitué par un réchauffeur tubulaire. La vinasse, qui est sujette à encrasser la surface, arrive chaude par le haut, au moyen d'un siphon, et circule entre les tubes ; elle sort froide à la partie inférieure, et remonte par un tube recourbé. Un robinet sert à la vidange des tubes pour le nettoyage. Le moût fermenté ou vin arrive froid à la partie inférieure et s'écoule chaud à la partie supérieure (Voir fig. 309).

Pour les moûts épais une difficulté pratique se présente dans l'emploi des récupérateurs : Si l'on prend un serpent

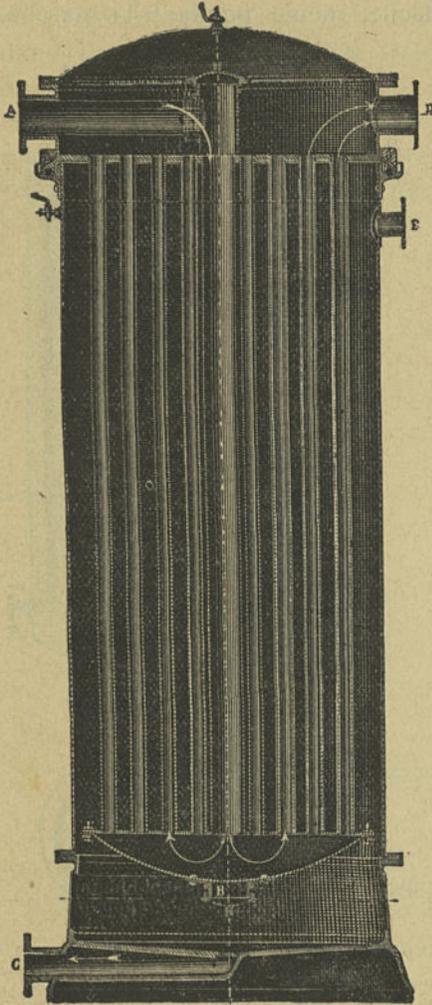


Fig. 304. — Récupérateur de chaleur pour moûts épais. (Syst. Barbet).

températures, les surfaces sont insuffisantes et inefficaces. Si l'on s'adresse à un tubulaire, le côté de l'intérieur des tubes peut bien se brosser et se tenir propre ; mais l'extérieur, c'est-à-dire les

espaces intertubulaires s'obstruent et s'engorgent rapidement, au moins dans les modèles ordinaires.

Pour rendre praticable l'emploi des récupérateurs dans le travail des moûts épais, M. Barbet a construit un appareil tubulaire à faisceau amovible comme dans les chaudières Thomas et Laurens.

Le tronçon supérieur porte 2 tubulures A et D (fig. 304), et est fermé en haut par un couvercle bombé et en bas par une plaque tubulaire. Les tubes que porte celle-ci sont réunis à une plaque tubulaire inférieure boulonnée sur un couvercle muni d'une tubulure fermée B.

Ce faisceau tubulaire est enfermé dans une calandre et le joint est fait par une couronne en caoutchouc logée dans une rainure entre la cornière supérieure de la calandre et le rebord de la plaque tubulaire supérieure. Le vin entrant en A descend d'abord par un gros tuyau central, se répand entre la plaque tubulaire et le couvercle inférieur, remonte dans les tubes et s'écoule par la tubulure D pour se rendre dans la colonne.

La vinasse bouillante entre en E, se répand autour des tubes et s'écoule par la tubulure inférieure.

530. ENSEMBLE D'UNE COLONNE A DISTILLER. — Maintenant que connaissons les organes essentiels d'une colonne à distiller, nous nous pouvons examiner comment est constitué l'appareil.

Nous avons vu qu'il y a deux moyens d'échauffer le vin : 1^o en le faisant servir à la condensation des vapeurs alcooliques, c'est-à-dire en récupérant la chaleur de celles-ci ; 2^o en récupérant la chaleur des vinasses.

1^o *Colonne à chauffe-vin.* — Supposons d'abord qu'il n'y ait pas d'avantage à se servir d'un récupérateur de la chaleur des vinasses, parce qu'il faut évaporer la vinasse. Dans ce cas, il faudra également se servir d'un chauffage par surface et non pas d'un barboteur injectant directement de la vapeur. Pour simplifier le raisonnement, prenons une chaudière A chauffée par un serpentin S. Cette chaudière sera surmontée d'une colonne B en communication avec un condenseur tubulaire C.

Le moût froid arrivant en M dans ce condenseur, sort chaud en M' et entre dans la colonne en M'' sur le premier plateau au-dessus duquel existe un espace vide servant de dôme de vapeur. Le vin descend de plateau en plateau en s'appauvrissant en alcool et tombe à l'état de vinasse, ou vin épuisé, dans la

chaudière A par un trop-plein et s'écoule de celle-ci par un trop-plein-siphon.

La vapeur chemine en montant, s'enrichit en alcool en passant de plateau en plateau et se rend au condenseur par le tuyau V pour s'écouler liquide à l'état de flegme par f.

Un appareil constitué et fonctionnant de la sorte est très économique, puisque la seule quantité de chaleur perdue est celle qui correspond à la température de la vinasse. Mais comme le moût fermenté ou vin a généralement une température d'environ 25 à 30 degrés, le liquide s'écoulant du chauffe-vin réfrigérant est à une température de 30 à 35 degrés, beaucoup trop élevée; il peut en résulter des pertes en alcool, et pour les éviter, on est obligé d'adjoindre à l'appareil un petit réfrigérant à eau vertical ou horizontal, ce qui diminue l'économie du travail. Il est facile de voir que la quantité de chaleur D absorbée pour la distillation est la différence entre le nombre de calories sortant de la colonne en T et en V et le nombre de calories entrant en M".

La dépense est donc $D = T + V - M'$.

Toutes choses égales d'ailleurs, la dépense sera donc d'autant plus faible que M" sera plus grand, c'est-à-dire que le vin entrera plus chaud dans la colonne.

Mais plus on cherche à faire le vin chaud du chauffe-vin, plus le flegme qui s'en écoule a une tendance à s'échauffer.

Pour éviter cet inconvénient, on se contente de condenser les vapeurs au moyen de vin froid et on refroidit le flegme avec un réfrigérant à eau.

2° *Colonne avec récupérateur seul.* — La vinasse sortant bouillante de la colonne passe dans les tubes d'un récupérateur en circulant de bas en haut; la vinasse passe à l'extérieur en circulant du haut en bas.

La vinasse représentant un volume et par suite un poids de liquide considérable, il saute aux yeux sans aucun calcul, que le récupérateur devra toujours être employé quand cela est possible. Les inconvénients que présente le récupérateur sont la faiblesse du coefficient de transmission de la chaleur et l'encrassement assez rapide qui diminue encore la rapidité de la transmission. Il faut donc des surfaces assez grandes et une grande facilité de nettoyage.

Tandis qu'un kilo de flegme peut abandonner en se condensant environ 400 calories, un kilo de vinasse n'abandonnera

pratiquement qu'environ 50. S'il y a 8 fois plus de vinasse que de flegme, le chauffe-vin donnera le même résultat que le récupérateur au point de vue de l'économie de combustible, mais si le poids de vinasse est plus considérable, le récupérateur donnera plus d'économie et celle-ci sera naturellement plus forte avec le chauffage par barbotage qu'avec le chauffage par serpentin et plus forte avec du haut degré qu'avec du bas degré. (Nous parlons ici des colonnes simples; nous nous occuperons plus loin des colonnes avec concentration à haut degré).

3° *Colonne avec récupérateur et chauffe-vin.* — Pour augmenter la température du vin entrant dans la colonne malgré l'emploi du réfrigérant à eau, on peut faire passer dans un chauffe-vin le vin sortant du récupérateur de la chaleur des vinasses (fig. 309). Si on fait la réfrigération par le vin, celui-ci passe d'abord par le réfrigérant (fig. 306).

Description de quelques colonnes simples (à bas degré)

531. *Colonne Champonnois construite par M. P. Barbier.* — La partie la plus intéressante de cette colonne est le plateau à étoile dont nous avons déjà parlé. Chaque tronçon TT (fig. 305) de la colonne comporte un plateau PP venu de fonte avec lui, et muni d'un ajutage AA et d'un trop plein t p. L'ajutage est recouvert par la calotte KK portant 10 branches B, B₁, B₂, etc., formant une étoile. La calotte repose sur les plateaux par de petites cales en bois. Pour pouvoir les fixer complètement, la calandre porte des ergots E placés au dessus des branches. Des cales en bois, enchâssées entre les branches B et les ergots E, empêchent tout soulèvement de la calotte étoilée.

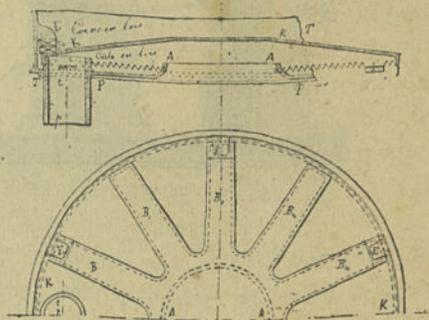


Fig. 305.

Plateau étoile de Champonnois (P. Barbier).

Le trop t p est naturellement placé entre 2 branches, comme on le voit sur le dessin en plan dont la moitié a été coupée.

Une autre particularité de cette colonne (fig. 306) est l'emploi d'un chauffe-vin tubulaire placé en haut de la colonne directement au-

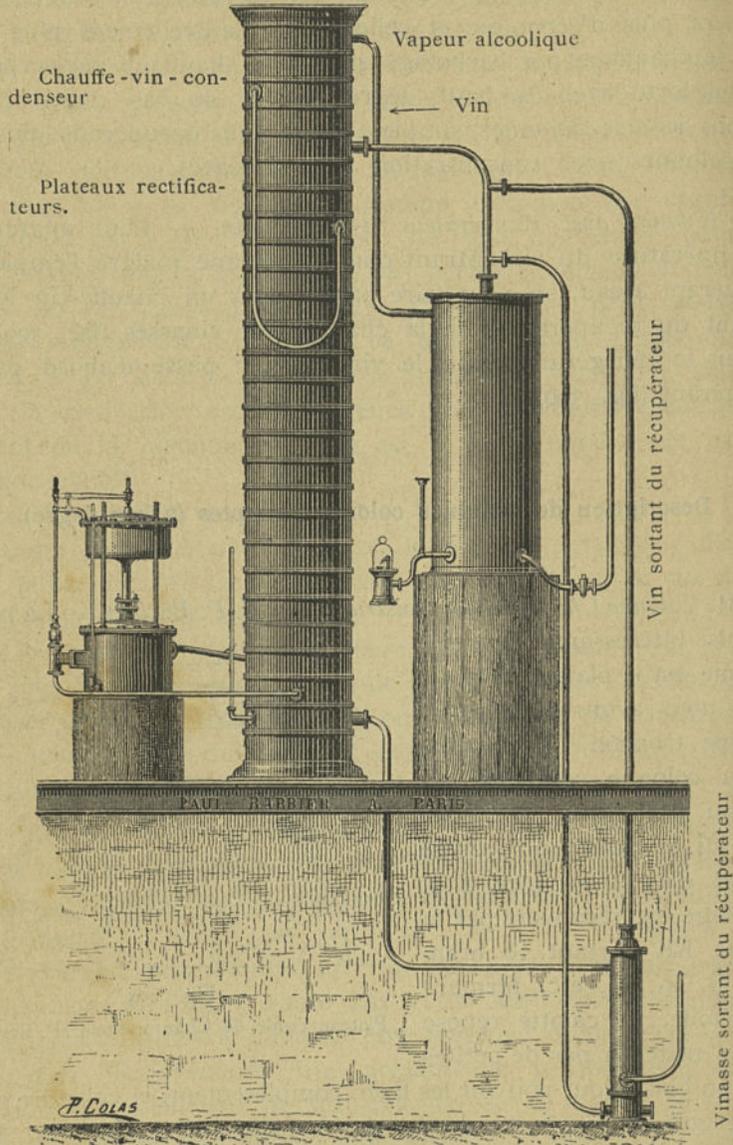


Fig. 306. — Colonne Champonnois construite par P. Barbier.

dessus du plateau d'alimentation. La vapeur passe dans les tubes qui servent de cheminée et de là s'en va au condenseur ; le vin

circule autour des tubes: il entre par le bas au-dessus de la plaque tubulaire et sort par le haut en un point diamétralement opposé à l'entrée. Le vin chaud descend par un tube recourbé en siphon sur le plateau d'alimentation.

Le liquide condensé dans les tubes tombe sur le plateau placé immédiatement au-dessous du condenseur où il subit le barbotage de la vapeur qui monte d'un plateau inférieur. C'est une colonne à rétrogradation totale, puisque toute la rétrogradation est renvoyée dans la colonne, mais cette rétrogradation est insuffisamment utilisée, puisqu'il n'y a que deux plateaux pour l'analyse de la rétrogradation. La circulation dans le chauffe-vin n'est pas mauvaise, puisqu'il y a contre-courant entre la vapeur ascendante et le liquide condensé qui descend le long de la surface intérieure des tubes; elle est meilleure évidemment que dans le condenseur genre Savalle généralement employé, dans lequel la vapeur et le liquide circulent dans le même sens.

Cette colonne peut donner des flegmes à 85°. Comme la réfrigération se fait au vin, la dépense de combustible est faible, mais le vin ayant souvent une température de 28° c., ce liquide seul ne pourrait refroidir que jusqu'à 30° c. Pour compléter son action, le flegme presse ensuite dans un petit réfrigérant à eau.

Chauffage de la colonne. — M. Barbier effectue le chauffage par un faisceau tubulaire placé dans le soubassement de la colonne. En élevant ce soubassement à 2 m. 50 — 3 mètres, au-dessus du plan d'eau du générateur, on peut faire le retour direct des eaux de condensation dans ce dernier appareil. Il en résulte une économie sérieuse de combustible et une dilution moins grande de la vinasse. Seulement ce système exige un bâtiment un peu plus élevé.

Les tubes du faisceau sont amovibles. Le joint est fait par des plaques ou coquilles-couvercles qui pressent sur des bagues en caoutchouc. Le démontage se fait très simplement en enlevant ces plaques et retirant les tubes, ce qui est à la portée de tout ouvrier distillateur.

Récupérateur de la chaleur des vinasses. — Le vin sortant du réfrigérant chauffe-vin descend, entre dans le récupérateur sous la plaque tubulaire, passe dans les tubes et sort par le haut pour aller alimenter la colonne.

Quand on veut marcher sans récupérateur, il suffit de laisser le vin filer directement dans la colonne par le tube coudé de droite à gauche qui va du réfrigérant chauffe-vin à la colonne.

Alimentation de la colonne. — L'alimentation se fait par un petit bac dans lequel le vin venant d'un grand bac est maintenu à niveau constant par un flotteur à robinet. Ce *bac compensateur* assure une pression constante sur le robinet, d'où un débit constant.

330. *Colonne rectangulaire de Savalle à bas degré chauffée par barbotage.* — Les colonnes Savalle qu'on rencontre le plus souvent sont des colonnes à bas degré. En France, comme la plupart des usines rectifient elles-mêmes, il n'y a guère d'intérêt à produire des flegmes à haut degré. Le seul avantage serait d'économiser quelques bacs quand on rectifie beaucoup après l'arrêt de la distillerie. Pour les flegmeries, c'est-à-dire les usines qui ne produisent que des flegmes vendus au raffineur d'alcools, il y a au contraire intérêt à produire du haut degré pour diminuer les frais de transport.

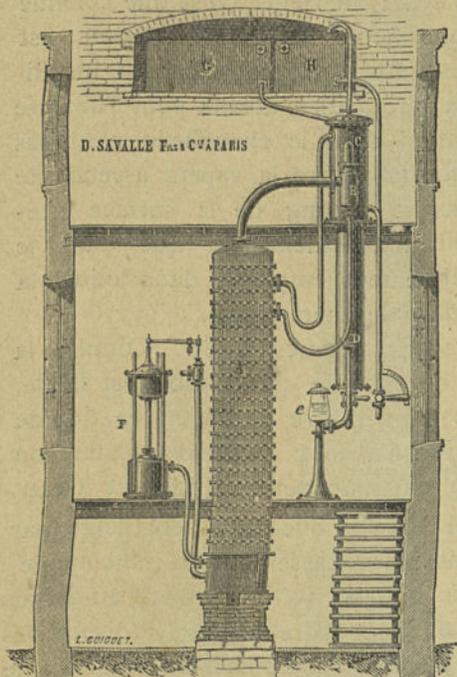


Fig. 307. — Colonne Savalle à bas degré chauffée par barbotage.

organes intérieurs de méthodicité. Le vin venant du bac à vin H se rend dans le bas du condenseur C, sous la plaque tubulaire, s'élève dans les tubes et s'écoule par un tuyau en siphon sur le premier plateau de la colonne; il descend ensuite de plateau en plateau en perdant son alcool et s'écoule à la partie inférieure du soubassement, à l'état de vinasse, par un tuyau en siphon. Les vapeurs sortant du dôme de la colonne passent d'abord par un brise-mousse B qui arrête les vésicules de mout entraîné et renvoie le liquide à la colonne, puis elles entrent dans le condenseur C. La partie condensée et les vapeurs non condensées passent dans le réfrigérant D qui achève la condensation et le refroidissement, et le tout coule à l'éprouvette e.

Ce réfrigérant doit donc porter des diaphragmes intérieurs, puisqu'il reçoit un mélange de liquide et de vapeur.

Colonne à bas degré de Savalle avec chauffage tubulaire. — La

fig. 308 montre une colonne rectangulaire munie du chauffage tubulaire précédemment décrit. Le vin froid venant du bac entre dans la partie inférieure du chauffe-vin C par le tuyau *m* muni du robinet 2 avec aiguille et cadran ; il sort chaud à la partie supérieure et s'écoule en *q* dans la partie d'épuisement. Comme le vin est toujours chargé d'acide carbonique qui se dégage assez rapidement et peut venir former un matelas faisant pression au-dessus du vin, le couvercle du chauffe-vin C porte en son centre un petit tube aboutissant au vase de sûreté ou brise-mousse H.

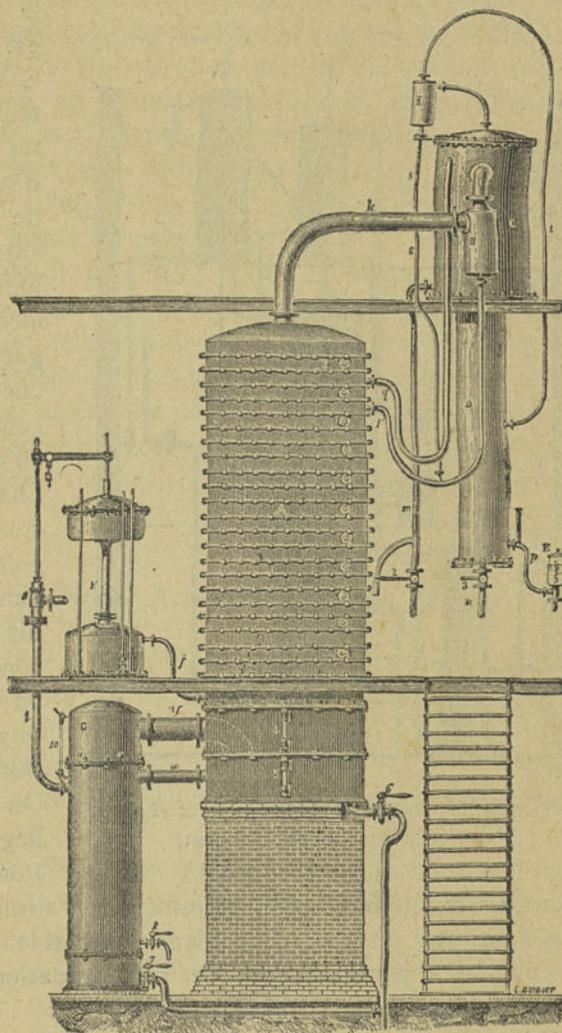


Fig. 308.

Colonne Savalle à bas degré avec chauffage tubulaire.

L'acide carbonique et la vapeur alcoolique se rendent par le tuyau *t* dans les espaces intertubulaires du réfrigérant chauffe-vin D où l'alcool se condense, tandis que les vésicules de vin entraînées se brisent et que le liquide descend par *ss* dans le tuyau *r* venant du grand brise-mousse B.

Dans la colonne précédemment décrite, le tuyau que porte le couvercle du chauffe-vin plonge simplement dans le bac à vin.

Colonne à bas degré de M. Barbet. — Dans cet appareil (fig. 309),

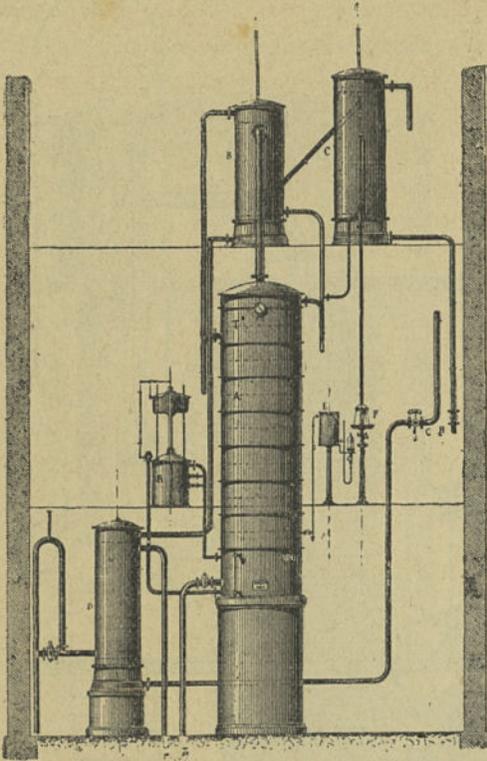


Fig. 309. — Colonne à bas degré avec réglage invariable du coulage (E. Barbet).

le moût dont l'arrivée est réglée par le robinet G traverse le récupérateur D, puis se rend dans un chauffe-vin de petite dimension B où il achève de se réchauffer pour entrer enfin dans la colonne A. Les vapeurs alcooliques qui s'en dégagent se rendent au chauffe-vin B où elles se condensent en partie, tout en opérant le réchauffage final du moût. La partie condensée qui est peu volumineuse rétrograde dans la colonne A, tandis que les vapeurs non condensées se rendent au réfrigérant C, où s'opèrent leur condensation et leur réfrigération.

On obtient ainsi un flegme à 60° GL. environ.

Pour avoir ce flegme en quantité exactement proportionnée à l'alimentation, M. Barbet applique son système de coulage invariable qui fait retourner à la colonne A par le tuyau de rétrogradation tout ce qui aurait exagéré l'importance du coulage.

L'épuisement des vinasses est contrôlé par une éprouvette spéciale recevant le liquide condensé dans le petit serpentín E.

Concentration des vapeurs alcooliques

531. Pour concentrer les vapeurs alcooliques, on peut employer le même procédé que pour l'épuisement par distillation ; il suffit de

faire circuler la vapeur en contact avec un liquide riche qu'elle épuise en s'enrichissant à ses dépens. Mais où trouver ce liquide ? On prend généralement le liquide qui résulte de la condensation des vapeurs dans le chauffe-vin, et on le fait circuler au contact des vapeurs qui sortent de la colonne recevant le vin. Les deux courants ont encore lieu en sens inverse, et pour assurer un contact intime entre les deux liquides, on emploie des organes de méthodicité.

Comme organes de méthodicité, on peut employer dans tous les cas les petites calottes ; si le liquide n'est pas acide, les plateaux perforés sont d'un bon usage. On se sert également de billes et de surfaces dentelées en forme de peignes.

Notre colonne à alcool concentré, dite colonne à haut degré, sera donc constituée par une colonne recevant le vin, que nous appellerons colonne d'épuisement ; au-dessus se trouvera une colonne alimentée à la partie inférieure par la vapeur de la colonne d'épuisement, et à la partie supérieure par le reflux du condenseur, ce qu'on appelle généralement *retrogradation*. Cette deuxième colonne porte le nom de colonne de concentration, colonne déflegmatrice ou rectificatrice.

Colonnes à distiller.

532. Toutes les colonnes à distiller connues jusqu'ici se rattachent à l'une ou à l'autre des deux catégories types suivantes :

- 1^o Les colonnes à « plateaux » ;
- 2^o Les colonnes dites « pleines ».

Chacun de ces deux types a ses avantages et ses inconvénients particuliers.

Dans le premier, la distillation s'effectue plus économiquement que dans le second, parce que chaque plateau a sa chambre de détente où les vapeurs alcooliques se débarrassent des entrainements de moût, et que la méthodicité tant pour l'épuisement du moût que pour l'enrichissement des vapeurs, y est bien établie. Mais ce type s'applique difficilement à la distillation des moûts épais, parce qu'il s'y produit facilement des obstructions qui arrêtent la circulation du moût.

Dans les colonnes pleines, le moût presse directement, de bas en haut, sur toute la masse de moût aussi bien que sur la sortie de la vinasse ou des drèches, cette sortie étant réglée par un régulateur qui assure la permanence du niveau du moût dans le haut de la colonne.

On comprend aisément que les obstructions puissent être évitées par cette disposition ; mais alors la distillation devient beaucoup plus coûteuse parce que l'émulsion produite par la vapeur dans cette masse nuit considérablement à la méthodicité pour l'épuisement du moût et pour l'enrichissement des vapeurs.

Chacun de ces types a donc bien ses avantages et ses inconvénients, les avantages de l'un excluant précisément ceux de l'autre.

333. *Colonne à haut degré de Savalle chauffée par barbotage.* — La figure 310 représente une colonne à haut degré de Savalle. Le vin du bac à vin I entre dans le bas du chauffe vin D en passant par le robinet 2 qui sert à régler son écoulement, puis il entre en K dans la colonne d'épuisement E. La vinasse s'écoule par u et le robinet 4. Le liquide condensé dans le chauffe vin D rétrograde par le siphon j dans le haut de la colonne de concentration c où il lave et enrichit les vapeurs alcooliques avant leur sortie par le tuyau ll. Les vapeurs non condensées dans le

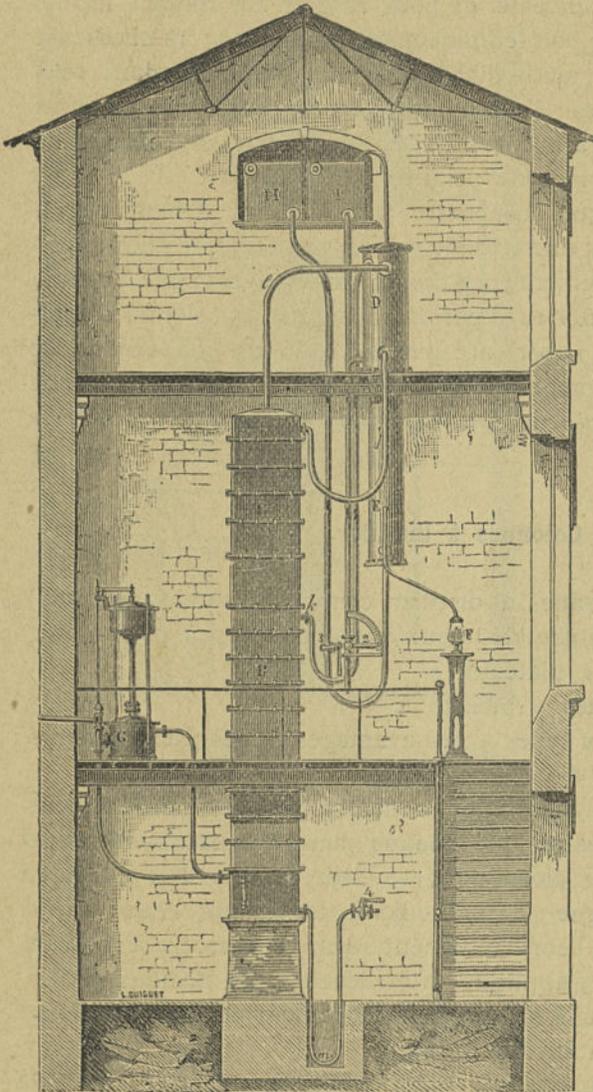


Fig. 310. — Colonne à haut degré de Savalle.

chauffe-vin] D vont se condenser dans le réfrigérant E et le liquide coule à l'éprouvette F. Le robinet 3 sert à régler l'arrivée de

l'eau venant de la bache H. Le soubassement est muni d'un tuyau allant au régulateur de vapeur G, d'un tube de niveau et d'un reniflard.

Colonne à haut degré modèle 1900 de M. Barbet (avec pasteurisation). — La pompe à vin représentée au bas (fig. 311), refoule le moût fermenté dans le fond conique du chauffe-vin décrit plus haut (fig. 298); il s'échauffe et redescend dans la colonne par le tuyau en siphon. Les vapeurs sortant de la colonne passent dans le chauffe-vin puis vont au bas de la colonne de concentration qui est surmontée d'un condenseur double avec réglage invariable du coulage. Cette colonne de concentration reçoit à sa partie supérieure la rétrogradation du condenseur, mélangée au trop-plein du réglage invariable provenant du réfrigérant (voir plus loin).

La condensation du chauffe-vin constitue le flegme; il entre au bas du 3^e tronçon rectificateur, et quelques plateaux plus bas se trouvent les extractions amyliques. Le flegme purifié, pasteurisé, à 96° est extrait du tronçon supérieur de la colonne de concentration, passe au réfrigérant et à la grande éprouvette. Les têtes concentrées sortent du réfrigérant supérieur, traversent le réfrigérant du pasteurisé et vont à leur éprouvette où elles sont réglées par un robinet. Tous les coulages d'ailleurs, de bon et de mauvais goûts, sont réglés directement par robinets à l'entrée des éprouvettes, de sorte qu'on est maître du taux des fractionnements respectifs.

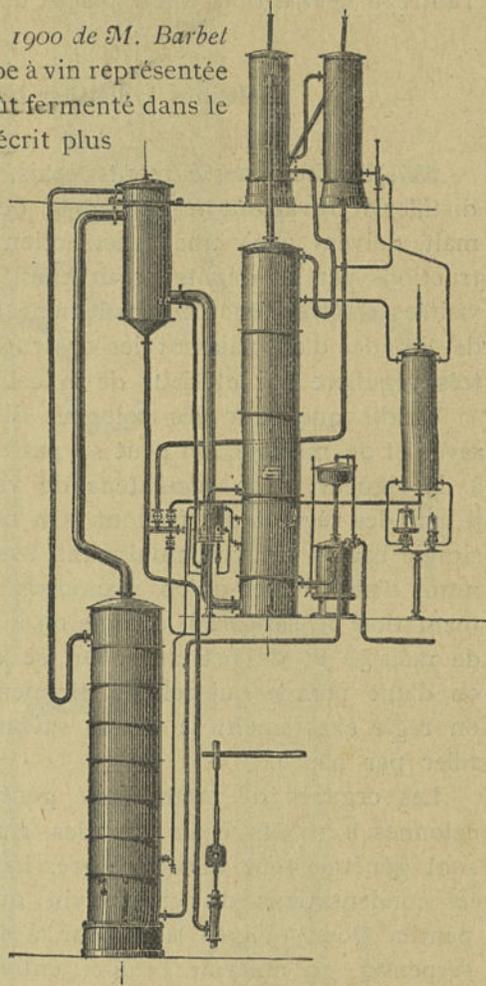


Fig. 311. — Colonne à haut degré avec pasteurisation (Modèle 1900 de M. Barbet).

Les 2 petites éprouvettes placées à gauche de la colonne à distiller servent l'une au contrôle de l'épuisement des vinasses et l'autre à l'extraction d'une partie des produits de queue.

Colonnes à distiller les moûts épais.

535. Les colonnes à moûts épais, telles qu'on les fait dans la distillerie travaillant les pommes de terre et les grains par le malt, doivent avoir une construction spéciale pour éviter les obstructions par les dépôts de drêches, et elles doivent pouvoir être visitées et être démontées facilement. Pour empêcher les stagnations de liquide, d'où naissent les obstructions, la circulation doit être très régulière à l'intérieur de la colonne.

Tandis que pour les colonnes distillant les moûts de betteraves et de mélasse, on peut se passer de tous régulateurs, même à la rigueur, d'un régulateur de vapeur, pour les moûts épais il faut des régulateurs partout. On ne pourrait pas se servir d'un simple bac à vin communiquant avec la colonne par un tuyau muni d'un robinet qu'on manœuvre à la main pour régler l'alimentation de l'appareil, comme on le fait en France, pour les vins de mélasse et de betterave. On se sert de régulateurs spéciaux ou d'une pompe qui refoule directement dans la colonne et dont on règle exactement la vitesse suivant le volume de moût à distiller par heure.

Les organes de méthodicit e g en eraleme nt employées pour les colonnes  a moûts épais sont les grandes calottes. Ces colonnes sont g en eraleme nt à haut degr e. La colonne rectificatrice reçoit les condensations du chauffe-vin qui est g en eraleme nt un serpentins. Pour obliger la vapeur à se mettre en contact avec le serpentins, on enferme celui-ci entre deux surfaces cylindriques.

Colonne à distiller de Bohm. — Comme colonne à moûts épais et à haut degr e, nous décrivons la colonne de Bohm de Fredersdorff, fort r epandue en Allemagne.

Cet appareil se compose des parties suivantes (fig. 312) :

A. Colonne à distiller ; B, colonne à rectifier ; C, condenseur ; D, r frig erant ; E, sortie des vinasses ; G, éprouvette à alcool.

1^o. *Marche du moût ou vin.* Le vin fermentée est élevée, à l'aide d'une pompe à vapeur, par le tuyau S dans le condenseur C, faisant en même temps l'office d'un chauffe-vin. La surface de chauffe se compose d'un vase à doubles parois et d'un serpentins

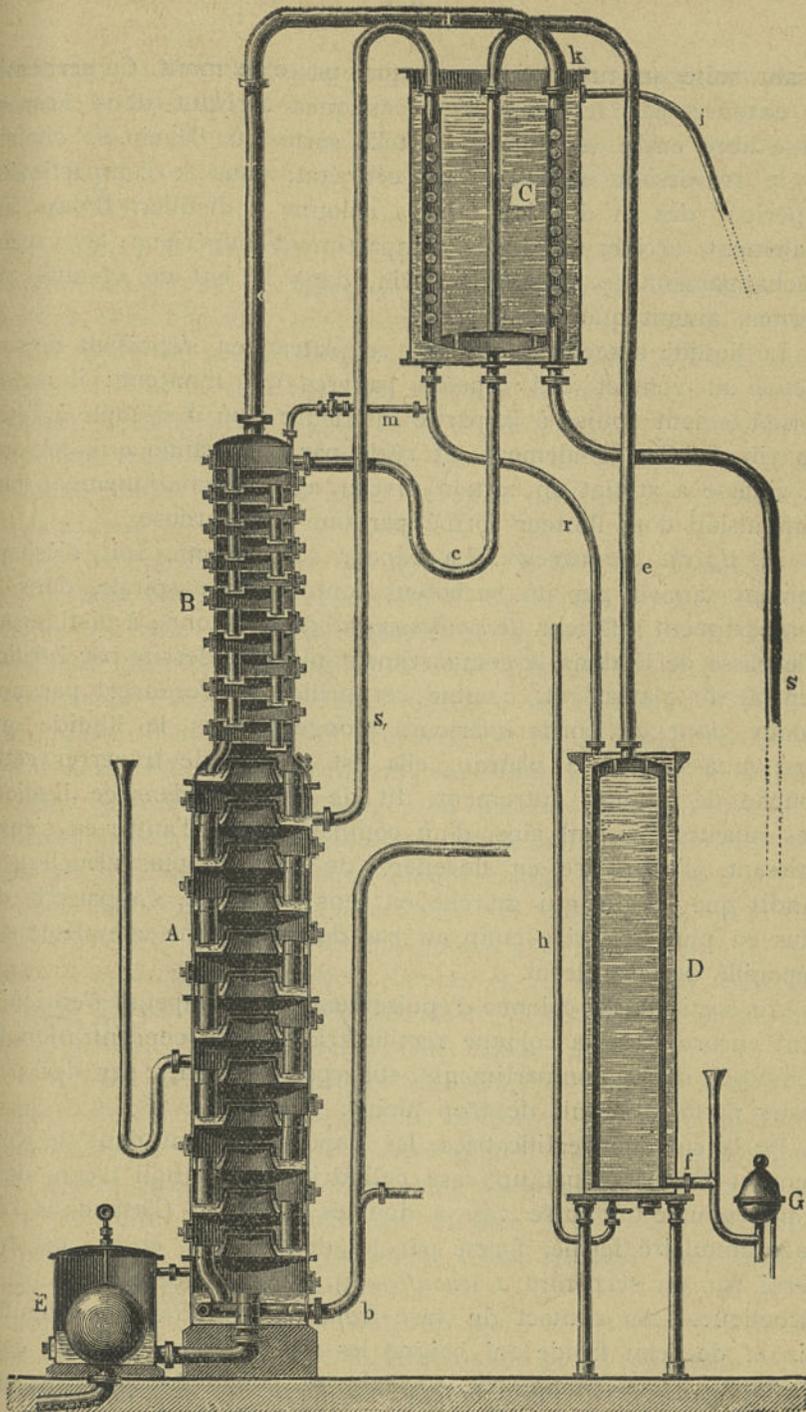


Fig. 312. — Colonne allemande à mouës épais et à haut degré de Bohm de Fredersdorff.

faisant suite au tuyau S dans lequel passe le moût. Ce serpentin est entouré par les vapeurs alcooliques arrivant dans l'espace laissé libre entre les spires, de telle sorte que le vin se chauffe en le traversant et arrive, en cet état, dans le compartiment supérieur des 11 divisions de la colonne à distiller. Bohm fait également arriver dans le compartiment supérieur la vapeur d'échappement de la pompe à vin, dans le but de chauffer ce dernier autant que possible.

Le liquide descend de plateau en plateau en s'épuisant de son alcool au contact des vapeurs pauvres qui montent; il arrive complètement épuisé à la partie inférieure d'où il s'écoule à l'état de vinasse. Cet écoulement est réglé par une vanne qui, lorsque la vinasse a atteint un certain niveau, agit automatiquement sous l'impulsion d'un flotteur formé par une boule creuse.

2°. *Marche des vapeurs.* La vapeur soit directe, soit d'échappement, arrive par un barboteur contourné en spirale, dans le compartiment inférieur (*le soubassement*) de la colonne à distiller A; elle passe de là dans le compartiment placé au-dessus par l'orifice central du plateau et, comme cet orifice est recouvert par une calotte dont les bords inférieurs plongent dans le liquide qui s'est amassé sur le plateau, elle est obligée de traverser cette couche de liquide, autrement dit de barboter dans ce liquide. Les vapeurs montent ainsi d'un compartiment à l'autre en s'enrichissant, c'est-à-dire en devenant de plus en plus alcooliques, tandis que le vin qui marche en sens contraire, s'appauvrit de plus en plus et arrive enfin au bas de la colonne complètement dépouillé de son alcool.

Au sortir de la colonne d'épuisement A, les vapeurs s'enrichissent encore dans la colonne rectificatrice ou de concentration B, composée de 15 compartiments superposés, formés par des plateaux perforés munis de trop pleins.

De la colonne rectificatrice, les vapeurs passent dans le condenseur C, formé par un vase cylindrique C rempli d'eau, dans lequel plonge un autre vase à doubles parois K. C'est dans l'espace annulaire fermé, formé par les deux parois et qui est traversé par un serpentin *d* (*chauffe-vin*), que pénètrent les vapeurs alcooliques. Au contact du vase froid contenu dans ce chauffe-vin *e*, de l'eau froide qui baigne les parois extérieures du condenseur, une partie des vapeurs se condensent, tandis que l'autre va se condenser dans le réfrigérant D. Le liquide coule à l'éprouvette G. Le liquide provenant du condenseur *rétrograde*

par le tuyau recourbé *c* dans le compartiment supérieur de la colonne rectificatrice, et de là descend par les trop-pleins de plateau en plateau, constamment traversé par les vapeurs qui s'élèvent de la colonne à distiller *A* et le dépouillent de l'alcool qu'il contient.

3°. *Marche de l'eau servant à refroidir.* L'eau froide arrive d'abord dans le réfrigérant *D*, passe ensuite par le tuyau *r* dans le condenseur, d'où elle sort chaude en *i*.

Un tuyau *m*, greffé sur la conduite *r* et muni d'un robinet, permet, lorsqu'on veut nettoyer l'appareil à distiller (*dégraisser la colonne*), de faire arriver l'eau dans le compartiment supérieur de la colonne rectificatrice, d'où elle descend de plateau en plateau jusqu'au bas de l'appareil pour s'écouler par l'orifice de sortie *E* de la vinasse.

Les parties intérieures des appareils à distiller, lorsqu'ils ont un certain temps, se recouvrent d'une croûte formée par les résidus du vin, les corps gras, la terre, les cellules de levure, etc., qui peut atteindre jusqu'à 2 *cm* d'épaisseur. Pour enlever cette croûte sans démonter l'appareil, on le nettoie d'abord à l'eau, puis on ouvre tous les regards et l'on introduit successivement dans chaque compartiment, en commençant par le bas, une capsule renfermant un mélange, en parties égales, de pétrole et d'alcool auquel on met le feu. Il suffit de laisser brûler la flamme pendant 3 ou 4 minutes dans chaque compartiment pour arriver à dessécher complètement la croûte ; elle se détache alors et peut être enlevée sans peine. On doit pouvoir nettoyer ainsi les plus grands appareils en 3 ou 4 heures et en dépensant seulement 2 litres de pétrole et 2 litres d'alcool (*Zeitschrift f. Spirit. Ind.* 1884, p. 997, d'après Maercker, trad. Bosker et Warnery).

On voit que dans l'appareil que nous venons de décrire, la colonne de concentration est placée au-dessus de la colonne d'épuisement. Cette disposition a l'inconvénient d'exiger des bâtiments très élevés quand il s'agit d'appareils assez puissants. Si avec cela on veut faire un chauffage par surface avec retour direct au générateur, il faudra un bâtiment d'une hauteur impossible et très fatigant pour les ouvriers.

Pour éviter cet inconvénient, on place la colonne de concentration à côté de la colonne d'épuisement ; c'est l'appareil à *colonnes jumelles*. La fig. 313 représente l'appareil de Paulmann, que nous avons vu dans plusieurs distilleries allemandes. Les vapeurs de la colonne à vin *A* se rendent par le col de cygne dans la colonne

de concentration D recevant à sa partie supérieure, par un tuyau en siphon, la rétrogradation du chauffe-vin F. Les *faibles-eaux* sont épuisées dans les plateaux du soubassement E, recevant une injection de vapeur. La vinasse de faibles-eaux ou flegmasse s'écoule complètement épuisée. On croyait primitivement que les flegmes ainsi produits à haut degré étaient beaucoup plus purs, parce que les huiles de fusel (alcools amyliques) s'écoulaient avec la flegmasse.

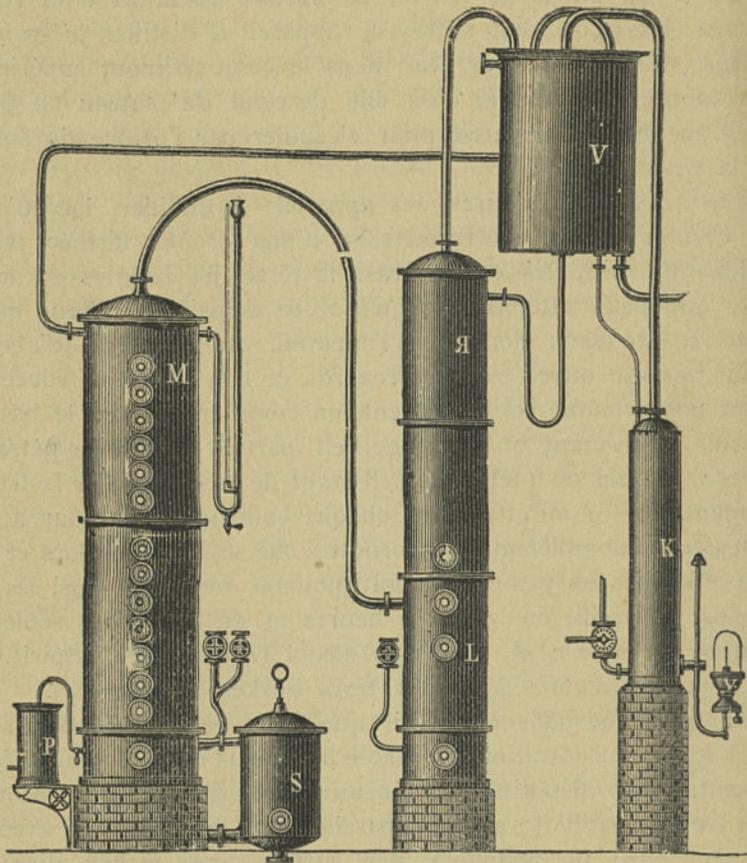


Fig. 313. — Appareil à colonnes jumelles de Paulmann.

Cette idée est fautive, comme nous l'avons déjà fait ressortir. Tout l'alcool amylique est entraîné par la vapeur d'eau avant que la flegmasse soit épuisée ; cette impureté monte dans la colonne de concentration et, si on ne fait aucune extraction, elle passe à l'éprouvette.

Les avantages de la colonne allemande jumelle sont les suivants :
1^o les vinasses de faibles-eaux ou *flegmasse* (lutterwasser = eau de lutter) qui ont toujours une odeur infecte, sont séparées à part au lieu de retomber dans les drêches ; celles-ci sont donc à la fois meilleures et plus concentrées ; 2^o on peut profiter de l'épuisement des faibles-eaux pour en séparer les alcools supérieurs.

536. *Appareil à moûts épais et à haut degré d'Ilgès.* — La fig. 314 représente l'appareil primitif d'Ilgès avec colonne de concentration placée au-dessus de la colonne d'épuisement. Nous avons déjà décrit celle-ci. Le vin ou moût fermenté y arrive constamment d'un réservoir supérieur fermé, par l'intermédiaire d'un régulateur constitué par un vase clos dans lequel une rentrée d'air règle l'écoulement du liquide. Ce vase fonctionne donc comme un flacon de Mariotte.

Bien que la colonne soit continue, l'alimentation éprouve des intermittences, qui ont lieu chaque fois qu'il faut remplir à nouveau le récipient du régulateur. A ce moment il faut tout arrêter, la colonne s'emballe et se dérègle, car la suppression de l'alimentation froide donne instantanément un grand excès de force au chauffage (Barbet).

La sortie de la vinasse est réglée par un grand flotteur qu'on voit à gauche.

La colonne de concentration se compose d'un récipient en fonte à section rectangulaire, fermé à sa partie inférieure par une grille pleine de petites billes en porcelaine.

Le condenseur déflegmateur est composé d'un grand nombre de petits tubes en cuivre, horizontaux, placés très près les uns des autres et divisés en rangées superposées. L'eau provenant des réfrigérants passe dans ces tubes, et condense les vapeurs qui se trouvent autour. Une lame dentelée en cuivre soudée à chacun des tubes, conduit les gouttes du liquide condensé, de tuyau en tuyau, jusque sur les billes en porcelaine de la colonne de con-

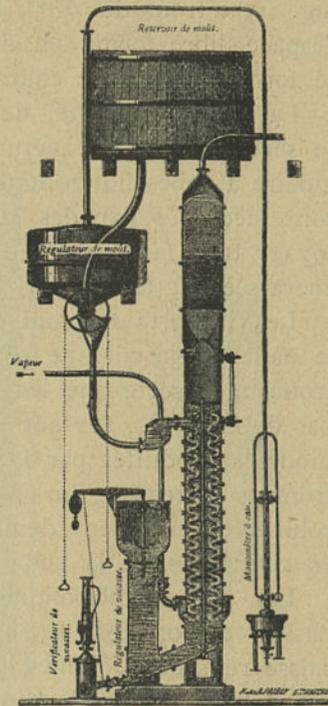


Fig. 314. — Colonne à haut degré et à moûts épais de M. Ilgès.

centration, où le liquide est soumis à l'action déflegmatrice des vapeurs ascendantes. Ce rectificateur à billes est de l'invention d'Ilgès et est très intéressant.

Colonne à mouls épais de MM. Aug. et René Collette. — Cette colonne fonctionne complètement pleine comme la précédente.

Les chicanes sont constituées par des tôles perforées A A (fig. 315) à trous de 18^{mm} ; le bord est libre et rabattu, et c'est dans l'espace libre formé en dessous du plateau par ce rebord que se forme une petite chambre de vapeur.

La vinasse (drèche) devant être conservée très chaude, on ne se sert pas de récupérateur ; on emploie un chauffe-vin rectangulaire à tubes horizontaux dans lesquels circule le vin. Les tubes sont raccordés par des coudes extérieurs, ce qui permet un nettoyage très facile de leur surface intérieure quand celle-ci est encrassée par le vin.

Le vin sortant chaud de ce condenseur chauffe-vin entre dans le haut de la colonne par la partie inférieure de l'avant-dernier tronçon, en sorte que les deux derniers tronçons, qui ne portent pas de chicanes, servent de dôme pour éviter l'entraînement des mousses produites par le barbotage. Dans le même avant-dernier tronçon se trouve un flotteur relié par une longue tringle au robinet d'écoulement de la vinasse dans la cuve à vinasse placée en contre-bas de la colonne.

Les vapeurs alcooliques qui se dégagent du dernier tronçon passent d'abord par le soubassement du chauffe-vin qui est une caisse remplie de billes de porcelaine, puis elles rencontrent les tubes ; elles se condensent partiellement et la partie restée en vapeur s'en va se condenser et se refroidir dans un réfrigérant tubulaire.

Le liquide condensé sur les tubes tombe sur les billes et descend en ruisselant sur l'énorme surface que celles-ci présentent à l'action de la vapeur. Il en résulte un échange énergique entre les molécules d'eau et les molécules plus volatiles (à coefficient d'épuration plus élevé) d'aldéhyde, d'éthers et d'alcool, et par suite un enrichissement en alcool. Le liquide arrivé à la partie inférieure de la caisse à billes constitue le reflux qu'on fait rétrograder dans la colonne.

La colonne est chauffée par un barboteur. Un détendeur de vapeur maintient constante la tension de la vapeur admise au chauffage.

Cette colonne est très répandue et est très estimée des distil-

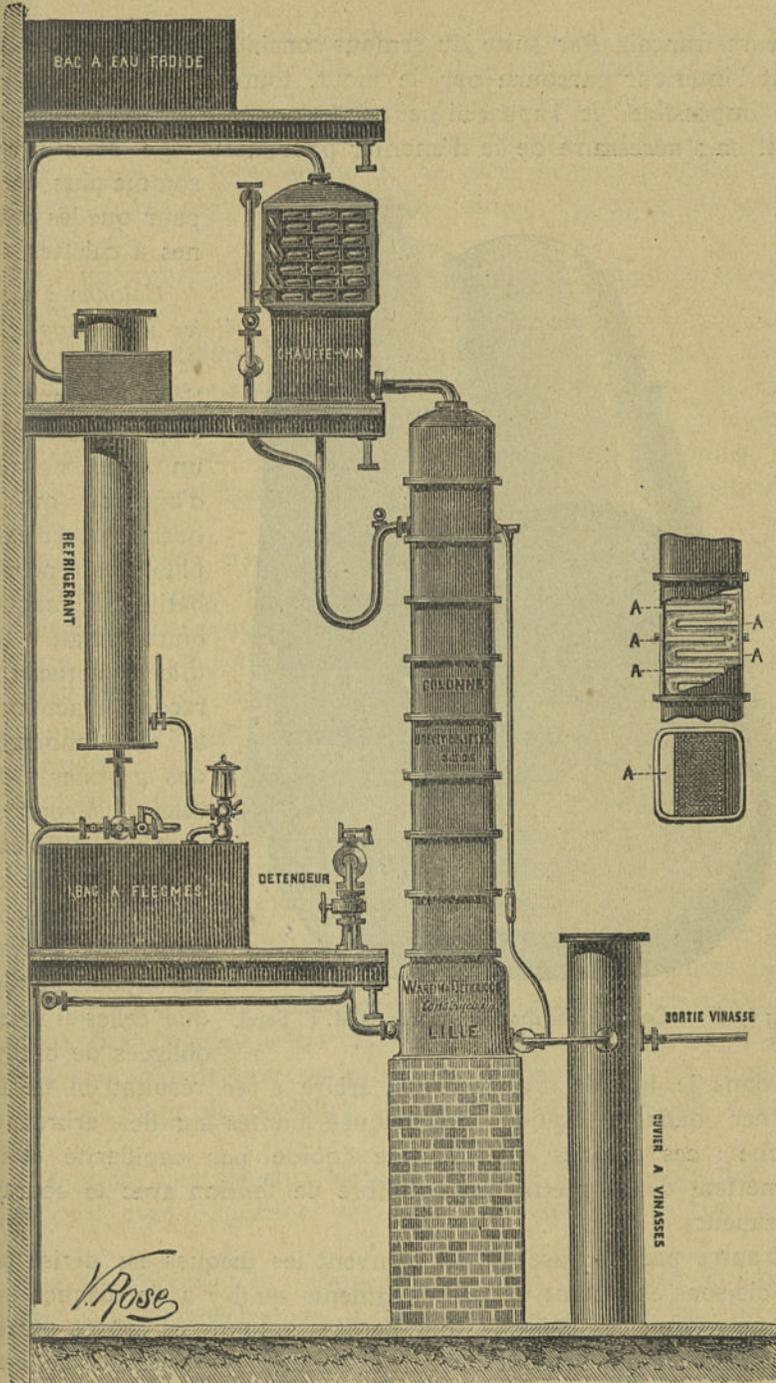


Fig. 315. — Colonne à mouës épais de M. Auguste et René Collette
(construction Warein et DeFrance).

lateurs français. Par suite du remous considérable qui existe dans tout l'intérieur parcouru par le moût, toute formation de dépôts est impossible, et l'appareil peut fonctionner très longtemps sans qu'il soit nécessaire de le démonter pour nettoyage. Mais il con-

somme plus de vapeur que les colonnes à calottes.

Colonne à distiller les moûts épais, de M. Sorel. — M. Sorel a essayé, il y a quelques années, un type nouveau d'appareil qui est horizontal et n'exige plus les énormes bâtiments auxquels on reconnaît la distillerie actuelle. Il recopie exactement le fonctionnement des colonnes à distiller cloisonnées, avec cette différence que le liquide est présenté en nappes minces au courant de vapeur, au lieu que celles-ci soient obligées de barbot-

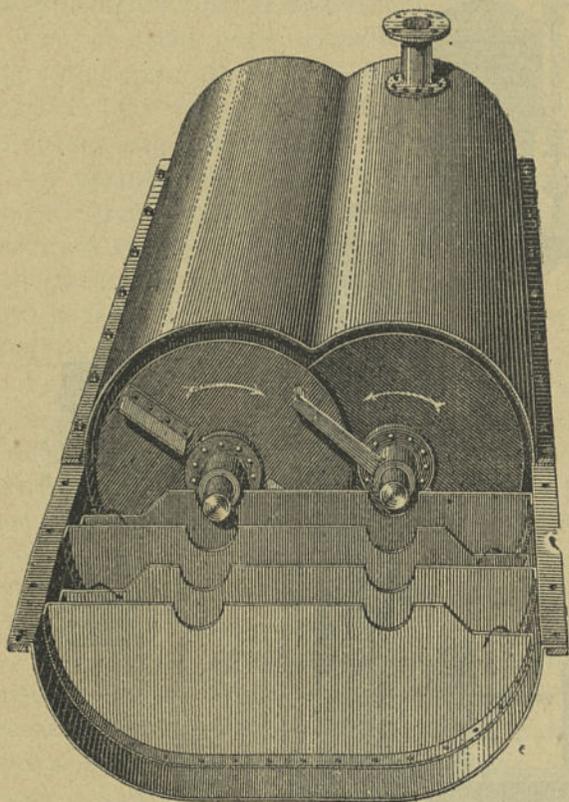


Fig. 316. — Colonne horizontale à moûts de M. E. Sorel.

ter dans le liquide (fig. 316). On arrive à ce résultat en faisant tourner dans le liquide des disques montés sur des arbres de couche : ces disques entraînent le liquide par capillarité et lui permettent de se mettre en équilibre de tension avec le courant de vapeurs.

D'autre part le vase où se meuvent les disques est divisé par des cloisons en autant de compartiments qu'il y a de disques sur chaque arbre : ces cloisons sont percées autour des arbres par de larges orifices qui laissent librement circuler la vapeur et celle-ci, pour passer d'un orifice au suivant, est obligée de lécher les disques : de leur côté ceux-ci sont munis d'une ou plusieurs palettes qui, à

chaque tour, soulèvent le liquide et l'obligent à s'écouler par une échancrure de la cloison. On imite donc exactement, d'après M. Sorel, le mouvement du liquide dans les colonnes à plateau sans permettre le mélange du contenu d'un compartiment avec celui du suivant, et on a l'avantage de ne créer aucune pression dans l'appareil : aussi l'alcool entraîne-t-il moins de corps de queue (E. Sorel).

Nous ignorons les résultats fournis par cet appareil dans la pratique.

537. *Colonne inclinée à circulation libre inobstruable pour moûts épais (système Émile Guillaume)*. — Dans la conception de cette nouvelle colonne dite « inobstruable », on a surtout eu en vue de réunir les avantages des deux types généraux de colonnes, les colonnes « à plateau » et les colonnes « pleines » et d'en supprimer les inconvénients.

Elle se compose d'une partie supérieure divisée en plusieurs compartiments pour former des chambres de vapeur, et d'un fond incliné sur lequel les moûts à distiller qui arrivent par la tubulure 1, circulent à pleine section *sans rencontrer aucun obstacle*, alternativement de droite à gauche et de gauche à droite, en descendant, pour arriver dans le dernier compartiment au bas de la colonne.

La section de circulation de ce moût est demi-circulaire, de façon à favoriser l'écoulement *en empêchant toute sorte de repos*.

La vapeur de chauffage arrive par la tubulure 2, passe en barbotant de compartiment en compartiment, par dessous tous les diaphragmes 3, pour arriver au compartiment supérieur 4 et se rendre dans le dôme 5, faisant fonction de brise-mousse, puis, soit au chauffe-vin, au réfrigérant et à l'éprouvette s'il s'agit de produire des flegmes à bas-degré, soit à un tronçon ou à une colonne comprenant des plateaux de concentration en nombre suffisant s'il s'agit de produire des flegmes ou des alcools à haut degré.

Le nombre des plateaux de cette colonne de concentration est en rapport avec l'élévation du degré alcoolique que l'on veut obtenir.

Pour les moûts très mousseux, on peut intercaler un brise-mousse complémentaire sur la conduite des vapeurs alcooliques, après leur sortie du dôme de la colonne à distiller.

Les moûts épuisés de leur alcool étant arrivés dans le compartiment inférieur sont extraits de la colonne à distiller *d'une façon*

continue, en passant par la tubulure 6 au moyen d'un *extracteur BB'*.

La partie supérieure de cet *extracteur* communique par le tuyau 7 avec le dôme de la colonne à distiller ; il se compose d'un réci-

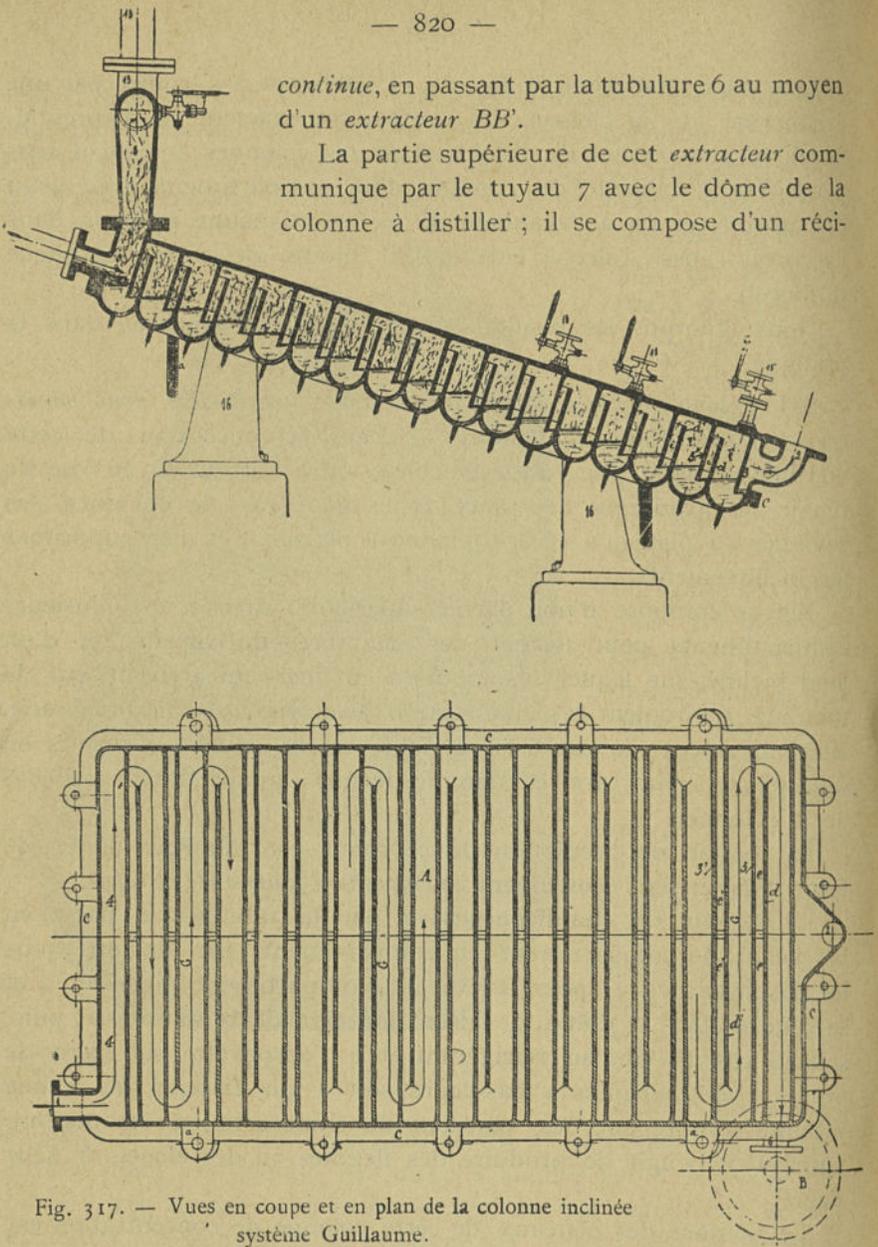


Fig. 317. — Vues en coupe et en plan de la colonne inclinée système Guillaume.

vient supérieur contenant un flotteur qui actionne directement un coulisseau obturateur servant de valve, pour la sortie des moûts épuisés. Grâce à la communication 7, l'équilibre de pression se fait entre la boîte à flotteur de cet *extracteur* et le dôme de la colonne à distiller, de telle façon que le liquide contenu dans la colonne à distiller, qui ne rencontre devant lui aucun obstacle à son

écoulement (autre que celui de barbotage de la vapeur qui se fait à sa surface dans chaque compartiment) tend à s'élever dans l'extracteur au même niveau que celui qu'il a dans le compartiment supérieur de la colonne à distiller. Or, lorsque ce niveau s'élève, le flotteur se soulève d'autant ainsi que le coulisseau valve, qui détermine la sortie des moûts épuisés de la colonne. Si le niveau du liquide s'abaisse dans la colonne à distiller, l'inverse se produit.

La section verticale et la section rabattue en plan de cette colonne (fig. 317) indiquent la circulation de la vapeur, l'état de chaque compartiment en marche normale, l'arrivée des moûts à distiller, la sortie des moûts épuisés d'alcool, l'arrivée de la vapeur de chauffage, la sortie des vapeurs alcooliques allant, soit au condenseur chauffé vin, soit au tronçon de concentration à haut degré.

Comme on le voit, cette colonne ne comporte *qu'un seul joint, le démontage en est donc prompt et facile*. Des boulons *aaa...* permettent de descendre rapidement le fond incliné et de le maintenir suspendu afin d'en visiter l'intérieur en cas de besoin.

Le robinet 15 est destiné à fournir une prise de vapeur, afin de pouvoir contrôler d'une *façon constante* l'épuisement des moûts distillés.

Cette colonne travaille à la fois comme une colonne *fonctionnant pleine* et comme une *colonne à plateaux*. L'enrichissement des vapeurs alcooliques s'y fait bien méthodiquement, alors que le liquide va aussi s'appauvrissant méthodiquement en descendant de compartiment en compartiment. De plus, dans chaque compartiment se trouve une chambre de vapeur. Les proportions de cette colonne varient naturellement suivant l'importance du débit.

La colonne est supportée par des pieds en fonte, représentés sur la figure, mais on modifie la disposition de ces supports suivant les nécessités de l'installation que l'on a à faire.

En résumé on voit que cette colonne est *robuste, simple*, et qu'elle prend une *place très minime*, puisque, avec une hauteur d'un *demi-mètre environ*, elle remplit le même office que les colonnes à distiller ayant 5 mètres de hauteur avec une *methodicité* aussi bonne, tant au point de vue de la *circulation du liquide* que de celle de la *vapeur*, et une *impossibilité absolue d'obstruction*.

La fig. 318 montre une vue d'ensemble d'une colonne inclinée avec chauffe-vin tubulaire à étages et à haut degré pour un travail de 200 à 300 hectolitres par jour. On voit que cet appareil ne dépasse guère en hauteur la taille d'un homme.

A est la colonne; B, le chauffe-vin tubulaire à étages; C, le régulateur à régime variable; D, l'extracteur de la vinasse; E, l'éprouvette; a, le tuyau d'entrée du vin dans le chauffe-vin; b, le tube de vin chaud; c, l'écoulement de la vinasse; d, le robinet

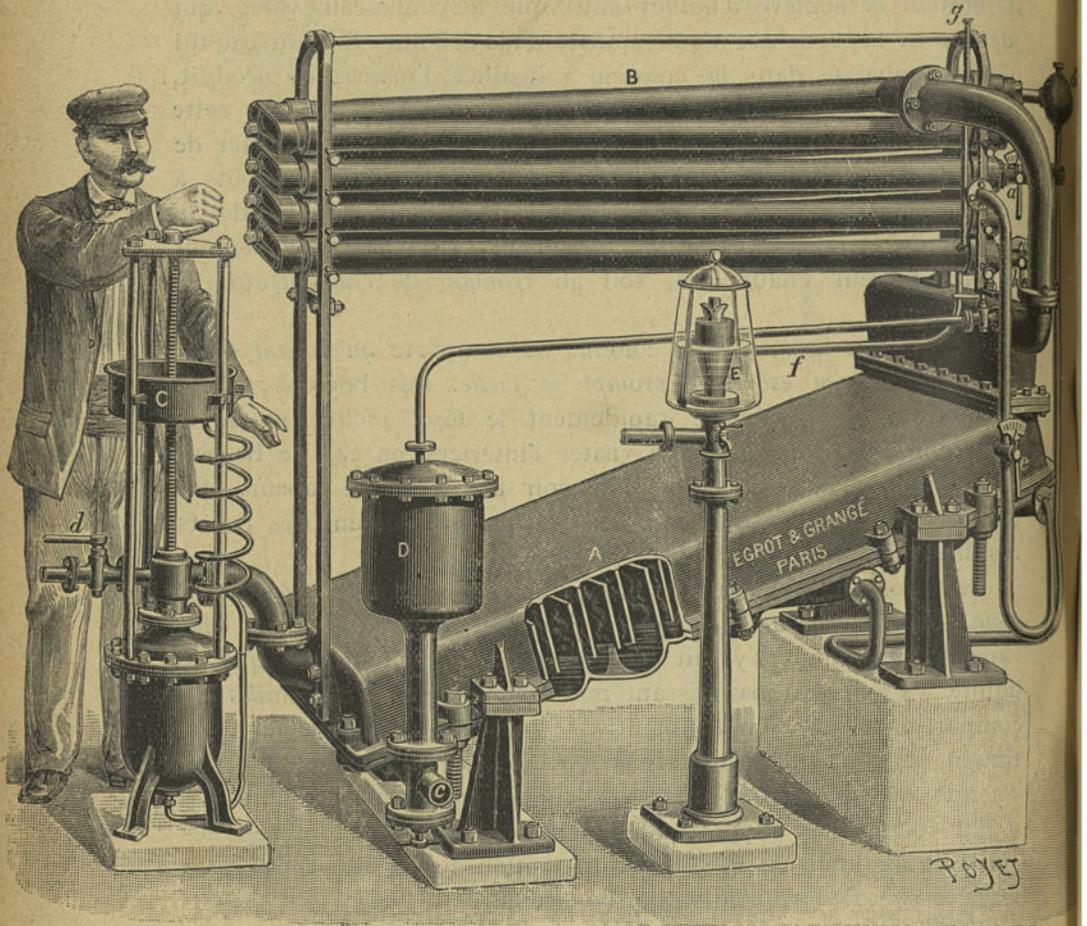


Fig. 318. — Vue extérieure de la colonne inclinée à circulation libre, inobstruable, système Guillaume.

d'admission de la vapeur; e, le tuyau de rétrogradation dans les compartiments de concentration; f, le tuyau amenant le flegme à l'éprouvette; g, la trompette de dégagement de l'acide carbonique; h, le robinet réglant l'arrivée de l'eau dans les deux compartiments inférieurs du réfrigérant.

Colonnes allemandes jumelles à haut degré.

538. Pour la distillation des moûts de pommes de terre et de grains les Allemands emploient généralement des colonnes à haut degré, mais afin que ces appareils n'exigent pas de bâtiments trop élevés, ils placent la colonne rectificatrice à côté de la colonne d'épuisement, au lieu de la placer au-dessus. De cette façon, on ne peut plus laisser couler les *faibles-eaux* de la colonne rectificatrice dans la colonne d'épuisement ; pour les épuiser dans cette colonne, il faudrait les repomper à la partie supérieure. Les Allemands préfèrent épuiser ces faibles-eaux en plaçant en dessous de la colonne rectificatrice quelques plateaux d'épuisement et faisant arriver dans le soubassement un barbotage de vapeur. Il en résulte deux avantages : 1° les vinasses de faibles-eaux ou *flegmasse* (lutterwasser = eau de lutter) qui ont toujours une odeur infecte, sont séparées à part au lieu de retomber dans les drèches ; celles-ci sont donc à la fois meilleures et plus concentrées ; 2° on peut profiter de l'épuisement des faibles-eaux pour en séparer les alcools supérieurs.

539. *Colonne à moûts épais et à haut degré avec séparateur d'aldéhyde et séparateur de fusel, de Pampe.* — Cet appareil (fig. 319) se compose de la colonne d'épuisement des moûts A, de la colonne rectificatrice ou déflegmatrice B, du condenseur-déflegmateur C faisant en même temps l'office de chauffe-vin, du séparateur d'huile F, du régulateur de sortie des vinasses G, du vérificateur d'épuisement des vinasses H, du régulateur de vapeur à membrane J en communication avec le ballon des échappements K et de la pompe à moût P.

1° *Colonne A.* — La colonne A est du type à très basse pression de Pampe. Elle comprend à sa partie inférieure 10 plateaux portant des trop-pleins de 110 m/m. Chaque plateau porte une grande calotte à bords évasés, en sorte que le jet de vapeur arrive avec une grande vitesse et bien horizontalement dans le liquide et n'a qu'une faible couche de celui-ci à traverser.

A sa partie supérieure la colonne porte trois plateaux dentelés (à peignes), sur lesquels le liquide ruisselle et est divisé par les dents en gouttes qui tombent en traversant le courant de vapeur ascendant.

Cette disposition spéciale permet de distiller avec une très faible pression.

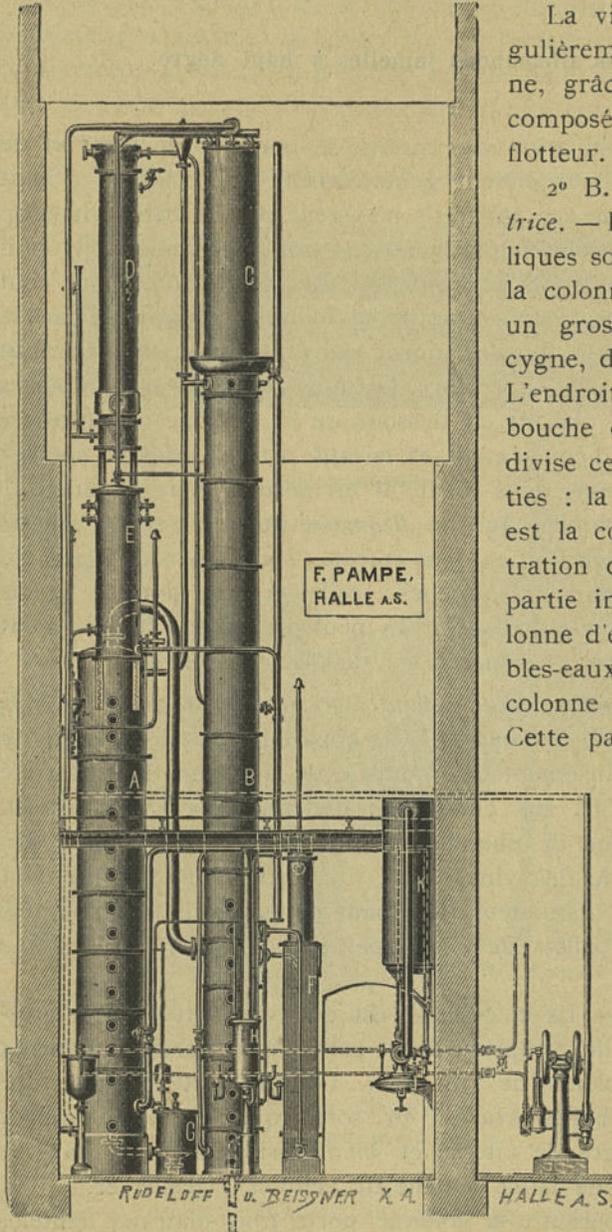


Fig. [319]. — Colonne à haut degré et à mouës épais de F. Pampe, avec séparateur d'huiles amyliques insolubles et séparateur d'aldehyde.

colonne B ne porte que des plateaux à peignes.

3° Condenseur déflegmateur C. — Ce condenseur chauffe-vin se

La vinasse s'écoule régulièrement de cette colonne, grâce au régulateur G composé d'un récipient à flotteur.

2° B. Colonne déflegmatrice. — Les vapeurs alcooliques sortant du dôme de la colonne A s'en vont par un gros tuyau en col de cygne, dans la colonne B. L'endroit où ce tuyau débouche dans cette colonne divise celle-ci en deux parties : la partie supérieure est la colonne de concentration des vapeurs, et la partie inférieure est la colonne d'épuisement des faibles-eaux ou reflux de la colonne de concentration. Cette partie inférieure est

analogue à celle de la colonne A. La vinasse des faibles-eaux (*flegmasse*) s'écoule également d'une façon automatique.

L'épuisement des vinasses est contrôlé d'une façon continue par le petit réfrigérant H à 2 serpents.

La partie supérieure de la

compose comme celui de la colonne Bohm (fig. 312) de 2 cylindres concentriques entre lesquels se trouve un serpentín. Le vin refoulé par la pompe à vin entre dans ce serpentín par le haut et sort par le bas, pour se rendre dans la partie supérieure de la colonne d'épuisement. Pour augmenter la puissance de ce condenseur, les 2 parois (l'intérieur du cylindre intérieur et l'extérieur du cylindre extérieur) reçoivent un ruissellement d'eau froide. Cette eau tombe dans une cuvette et s'écoule à environ 78° C.

Le liquide alcoolique condensé en descendant le long du serpentín et des deux surfaces cylindriques entourant celui-ci, circule en sens inverse du courant ascendant des vapeurs, et un échange se produisant entre les molécules d'eau et celles des liquides plus légers (alcools, etc...), il se produit aussi une certaine déflegmation, ce qui justifie le nom de *condenseur-déflegmateur*.

4° *Séparateur d'aldéhyde*. — C'est un condenseur tubulaire à l'intérieur duquel on a placé des organes de méthodicité constitués par des diaphragmes perforés d'une multitude de petits trous et de trous plus grands dans lesquels passent librement les tubes. Les vapeurs entrent dans le bas des espaces intertubulaires et circulent en sens inverse de l'eau qui ruisselle en nappe très mince sur la surface intérieure des tubes. La distribution de l'eau dans les tubes se fait par un système analogue à celui employé dans les appareils évaporatoires à triple effet de Greiner. Dans les tubes se trouvent enserrés à leur partie supérieure des petits bouts de tuyaux, dont l'extrémité inférieure est dentelée et dont la partie supérieure porte des créneaux. L'eau arrivant sur la plaque tubulaire par deux tuyaux diamétralement opposés, monte jusqu'à atteindre les créneaux et s'écoule par ceux-ci en nappe mince à l'intérieur des tubes. Pour donner à ce condenseur plus de *volant*, on maintient de l'eau dans les tubes jusqu'à une certaine hauteur, en la faisant sortir par un tube recourbé qui remonte jusqu'en haut et porte un tube latéral fixé à la hauteur voulue. Les vapeurs ascendantes circulent donc ici encore en sens inverse du liquide condensé et un échange de molécules se produit. Les vapeurs non condensées se rendent avec les gaz incondensables provenant du moût, dans le réfrigérant où elles se réduisent en un liquide très riche en produits de tête (aldéhyde, éthers, etc.), très propre à l'éclairage et au chauffage.

5° *Séparateur d'huile*. — Comme les alcools supérieurs qui prédominent sont les alcools amyliques, qui sont insolubles dans l'eau, on se contente le plus souvent de n'extraire que ces alcools, parce

que, grâce à leur insolubilité dans l'eau, on peut les séparer sans entraîner d'alcool éthylique.

Le séparateur Pampe, le plus ancien, opère exactement comme le récipient florentin employé pour la séparation des essences par distillation. A l'endroit où le degré alcoolique des faibles-eaux est suffisamment bas pour que l'alcool amylique se sépare facilement, on le fait sortir de la colonne d'épuisement et on le fait arriver à la partie inférieure du séparateur. Le séparateur est divisé en deux compartiments par une cloison. Le liquide monte d'un côté et descend de l'autre pour sortir à la partie inférieure et retourner dans le soubassement de la colonne, où il est épuisé d'alcool éthylique. Les gouttelettes d'alcool amylique viennent former à la partie supérieure de l'extracteur une couche qui exerce son attraction sur les particules en suspension et accélère leur rassemblement. Au début de la marche d'un appareil, on favorise la formation de cette couche en introduisant dans le séparateur une dizaine de kilos de sel marin qui se dissout dans le liquide et facilite la séparation de l'alcool amylique, en augmentant son insolubilité. Un petit robinet placé au niveau de la couche d'alcool amylique permet de soutirer celui-ci d'une façon continue; on a soin, bien entendu, d'en laisser toujours une couche suffisante pour faciliter la séparation des particules en suspension.

Evidemment une certaine quantité d'alcool amylique se vaporise sur les plateaux d'épuisement et monte dans les plateaux de rectification; mais ici elle rencontre un liquide de plus en plus riche en alcool: le coefficient de solubilité dans l'alcool bouillant $\frac{1}{K}$ augmente et le coefficient d'épuration $K' = \frac{K}{C}$ diminue (K diminue et C diminue également); il est donc arrêté par le courant d'alcool fort fourni par la rétrogradation et il est refoulé vers le bas. A la partie inférieure, l'alcool amylique ne peut pas s'échapper avec les vinasses, car on a soin de maintenir celles-ci épuisées et l'alcool amylique distille très rapidement quand il est en présence de l'eau seule. La seule issue pour l'alcool est donc celle qui conduit au séparateur, et cet appareil permet d'enlever tous les alcools insolubles. (Voir l'étude de M. Duclaux, p. 785, et l'étude des coefficients de rectification, p. 845).

Régulateurs de vapeur.

340. Pour que les appareils à distiller fonctionnent régulièrement, il faut qu'ils reçoivent à chaque instant la quantité de vapeur nécessaire à l'épuisement du vin qui entre dans la colonne. Si la quantité de vapeur qui entre est trop faible, on risque de laisser de l'alcool dans la vinasse ; au contraire, si elle est trop forte, on exagère la dépense de combustible et on dilue inutilement le liquide de la colonne, d'où résulte un degré trop faible de l'alcool brut ou flegme que produit l'appareil.

341. *Régulateur Savalle.* Le régulateur de vapeur le plus anciennement employé, et encore le plus répandu à l'heure actuelle, est celui de Désiré Savalle (fig. 320 et 321).

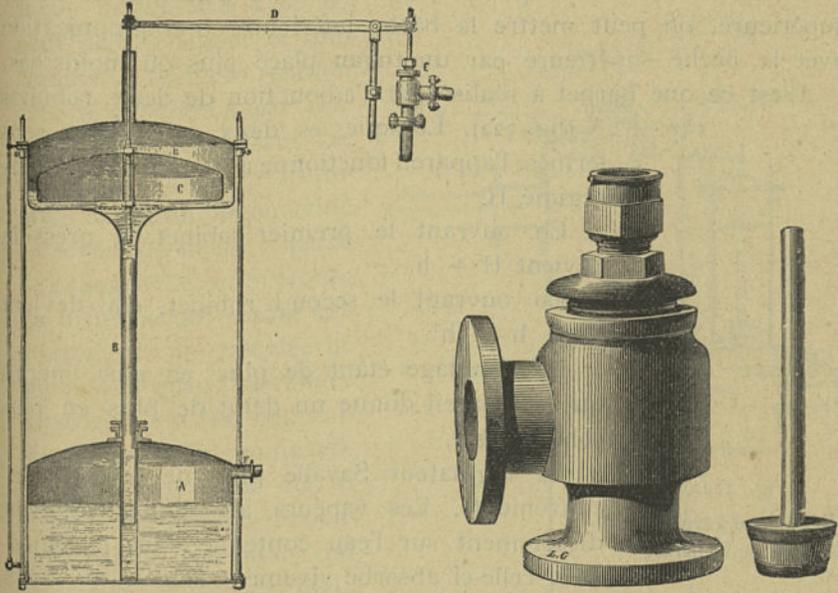


Fig. 320. — Régulateur Savalle (Lepage et C^{ie}). Fig. 321. — Valve du régulateur.

Il se compose de deux bâches A et B. La bêche supérieure B porte un tube B qui traverse le couvercle de la bêche inférieure et plonge dans cette bêche. Une boîte à calfat H forme le joint entre le couvercle de la bêche A et le tube B. Dans la bêche supérieure se trouve un flotteur creux C agissant, par une tige qui le traverse, sur l'extrémité du bras de levier D, lequel fait fonctionner la soupape E qui règle l'introduction de la vapeur dans l'appareil.

La bache inférieure A étant pleine d'eau jusqu'au niveau de la tubulure F reliée à l'appareil dans lequel on veut régler la pression, si on ouvre la communication entre A et l'appareil, la pression refoule une partie du liquide de A en B et fait fonctionner le flotteur C, le levier D et la valve E.

La distance entre le niveau de l'eau dans la bache inférieure et dans la bache supérieure représente la pression qui règne dans l'appareil. Si, avec le même régulateur, on veut travailler avec une pression de régime plus forte ou plus faible dans la chaudière, il faudra élever ou abaisser la bache supérieure du régulateur, ce qui, avec le régulateur que nous avons décrit, ne peut pas commodément se faire pendant la marche. Pour pouvoir modifier immédiatement le régime de la pression, on a construit des régulateurs à régime variable.

Il est facile de voir qu'au lieu d'élever ou d'abaisser la bache supérieure, on peut mettre la bache inférieure en communication avec la bache supérieure par un tuyau placé plus ou moins bas.

C'est ce que Barbet a réalisé par l'adjonction de deux robinets A (fig. 322). Lorsque les deux robinets A sont fermés, l'appareil fonctionne avec une pression de régime H.

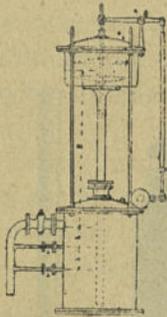


Fig. 322.
Régulateur à régime variable de E. Barbet.

En ouvrant le premier robinet, la pression devient $H + h$.

En ouvrant le second robinet, elle devient $H + h + h'$.

Le chauffage étant de plus en plus énergique, l'appareil donne un débit de plus en plus considérable.

Le régulateur Savalle présente certains inconvénients. Les vapeurs alcooliques agissent directement sur l'eau contenue dans le régulateur, celle-ci absorbe vivement l'alcool au début de l'opération, et plus tard, quand elle est chaude, elle le cède à l'atmosphère par évaporation, ce qui occasionne une perte. En outre, pendant la période de l'épuisement de la chaudière des rectificateurs, du liquide du régulateur passe parfois dans celle-ci et prolonge l'opération; pour éviter cela, les ouvriers soigneux renouvellent le contenu du régulateur avant la période de bon goût dans les appareils rectificateurs discontinus.

Il est arrivé parfois aussi que des régulateurs système Savalle fonctionnaient tellement mal que la vapeur chassait l'eau du régur

lateur et que les vapeurs alcooliques se répandaient dans la salle de distillation, où elles s'enflammaient. On évite ces inconvénients par une bonne construction et par l'interposition, sur le tuyau de communication des deux vases, d'un robinet qu'on peut fermer quand il s'agit d'empêcher le retour du liquide du vase inférieur dans la chaudière ou la projection au dehors du liquide du vase supérieur.

342. *Régulateur Christoph.* — Ce régulateur est assez intéressant malgré son ancienneté. Il se compose (1) d'un vase A plus haut que large, fermé hermétiquement par un couvercle D qui se continue dans le vase A par une boîte d dans laquelle débouche le tuyau de vapeur directe et qui est en communication, par une fente annulaire avec le cylindre a traversant cette capacité. A l'intérieur de cette boîte s'en trouve une plus petite b, qui reçoit le tuyau permettant à la vapeur de s'échapper et qui, comme d, est en relation avec le cylindre a par une fente annulaire. Dans ce cylindre se meut, à frottement doux, un piston évidé en forme de cloche c, percé de 2 rangées de petits trous. La distance qui sépare ces 2 rangées a été calculée de façon que quand la rangée supérieure est en communication avec le compartiment b, les trous de la rangée inférieure soient bouchés par la couronne qui se trouve entre les deux fentes circulaires pratiquées sur la surface du cylindre a.

Quand le piston se trouve dans une position intermédiaire, les deux rangées de trous sont bouchées, et quand il est au bas de sa course, la rangée inférieure est mise en communication avec le compartiment d, c'est-à-dire avec l'arrivée de la

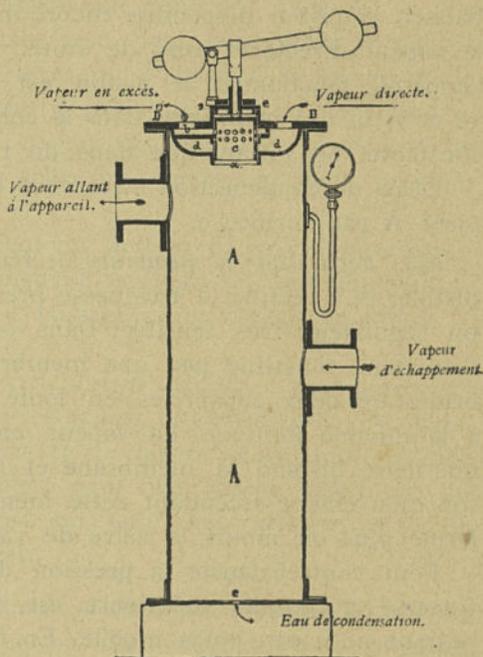


Fig. 323. — Régulateur Christoph.

(1) M. Maercker. Traduction Bosker et Warnery.

vapeur directe. La tige à laquelle est fixé le piston traverse le couvercle du cylindre dans un presse-étoupe et va se relier à un levier muni d'un contre-poids pouvant glisser sur le bras de levier, ce qui permet de régler la pression à laquelle le régulateur doit fonctionner.

Supposons maintenant cette pression réglée de façon à ce que la vapeur d'échappement de la machine en marche normale suffise pour le chauffage de l'appareil ; le piston occupera alors la position intermédiaire où les deux rangées d'ouvertures sont bouchées. Si la machine vient à développer un plus grand travail et, par suite, à dépenser plus de vapeur, le piston s'élèvera dans le cylindre et mettra le vase A en communication avec le tuyau de sortie de la vapeur b, celle-ci s'échappera alors dans l'air jusqu'à ce que la pression ayant diminué dans le régulateur, le piston ait repris sa première place. Si la pression continue à baisser, le piston descendra encore davantage et donnera accès à la vapeur directe et ainsi de suite. Il s'ensuit que, pendant que l'appareil fonctionne, le piston est animé d'un mouvement de va et vient qui maintient, dans la colonne à distiller, une pression constante, ne variant que dans de très faibles limites.

L'eau de condensation s'écoule à la partie inférieure du récipient A par l'orifice e.

543. *Régulateur à membrane de Pampe.* — Pour les appareils à distiller et à rectifier à très basse pression, il est nécessaire d'avoir un régulateur très sensible. Dans ce but, Pampe se sert d'un régulateur constitué par une membrane ondulée serrée entre les brides de deux couvercles en fonte posés horizontalement (voir à la colonne Pampe). La vapeur en arrivant dans la coquille inférieure distend la membrane et la pousse vers le haut. Dans son mouvement ascendant cette membrane agit sur une tige qui ferme plus ou moins la valve de vapeur.

Pour contrebalancer la pression de la vapeur, cette tige, qui traverse la coquille supérieure, est reliée à un levier horizontal portant un contre-poids mobile. En faisant glisser ce contre-poids on peut à volonté modifier la pression de régime.

544. *Régulateur genre Savalle à régime variable à la main de M. Guillaume.* — Cet appareil est constitué par le régulateur classique du genre Savalle, dont le récipient supérieur U' contenant le flotteur est supporté sur les tiges filetées xx, par l'intermédiaire d'écrous pignons S qui peuvent être actionnés ensemble à la main par une même chaîne Gall et un volant V, de façon à pouvoir augmenter ou

diminuer à volonté la hauteur comprise entre le récipient inférieur U et le récipient supérieur U' (fig. 324).

La tige qui manœuvre le papillon de distribution de vapeur est extensible pour satisfaire à la variation de position du récipient supérieur.

Enfin, le dessous du récipient inférieur U porte un fourreau dans lequel vient se loger et coulisser le tuyau plongeur P par lequel passe le liquide se rendant au récipient supérieur U. On comprend immédiatement le fonctionnement de la variation de régime de ce régulateur. (Voir aussi la fig. 318).

545. *Régulateur à régime variable et à action directe de M. Guillaume.* — Ce régulateur de vapeur est entièrement nouveau.

Il se compose (fig. 325), de deux vases communicants A et B réunis par un tuyau C. Ces vases contiennent de l'eau sur laquelle agit par la tubulure a la pression que l'on veut régler.

L'examen de la figure montre que, pour faire varier le régime de ce régulateur, il suffit de lever ou d'abaisser le niveau de la cuvette B en tournant le volant d dans un sens ou dans l'autre.

La hauteur qui sépare le niveau de l'eau dans cette cuvette et le niveau dans l'autre est celle qui correspond à la pression de régime.

La cuvette inférieure contient un flotteur C qui actionne directement une soupape d'un système spécial D, qui augmente, diminue ou ferme au besoin le passage de la vapeur venant de V qu'il s'agit d'admettre.

Ce régulateur est donc strictement variable pour une très grande hauteur et pour tous les points intermédiaires. De plus, sa disposition est telle que l'arrivée de vapeur se fait toute grande et qu'elle s'obture complètement pour une course maximum du flotteur d'environ 3 centimètres, ou pour une variation totale de 3 centimètres de pression d'eau.

546. *Régulateur système Wauquier.* — Pour ses colonnes à distiller, la maison Wauquier se sert parfois d'un régulateur de pression représenté par la fig. 326. Dans cet appareil, la vapeur arrivant par A sort par B en passant par une valve sur laquelle agit un levier L, muni d'un contre-poids M.

L'espace où il s'agit de régler la pression de la vapeur est en communication par le tuyau G avec la cloche R contenant un piston E relié par une tige au levier L. Si la pression augmente

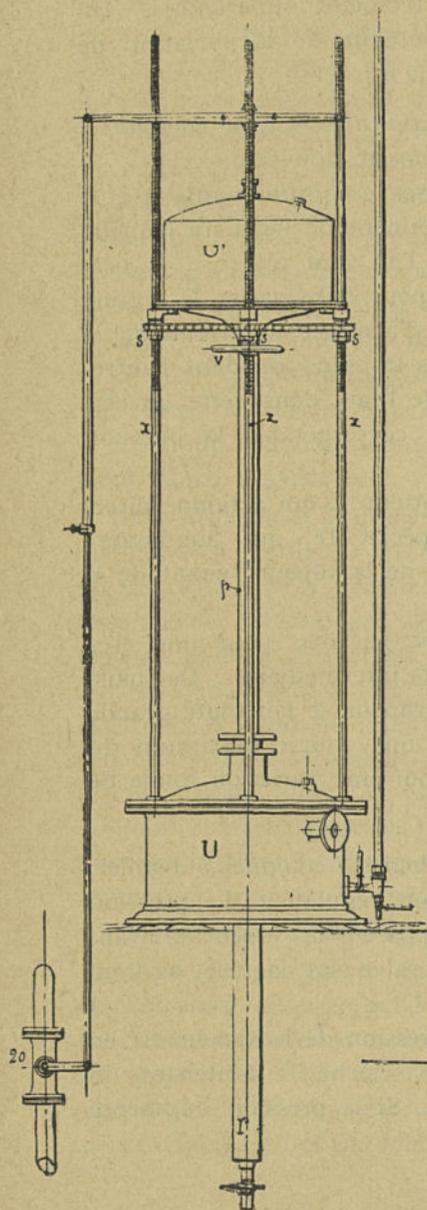


Fig. 324. — Régulateur genre Savalle à régime variable, de M. Guillaume.

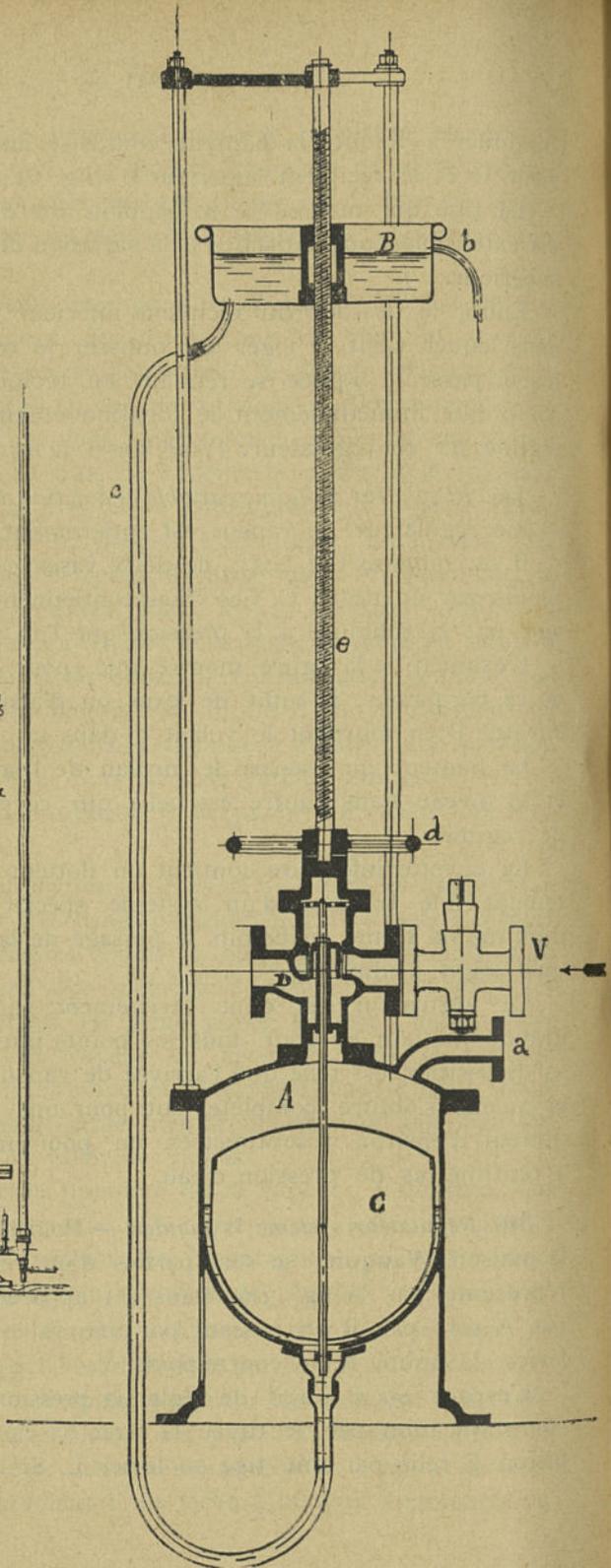


Fig. 325. — Régulateur à régime variable et à action directe de M. Guillaume (modèle 1900).

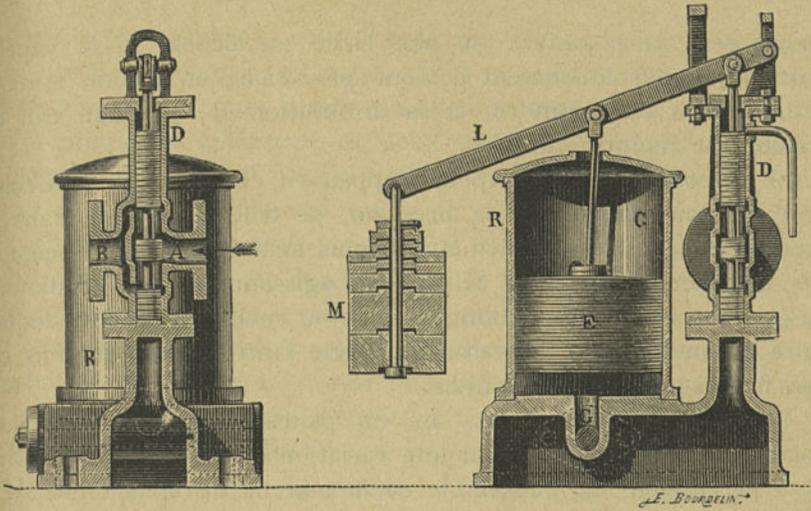


Fig. 326. — Régulateur de pression, système Wauquier.

dans l'enceinte, le piston D est élevé et la valve est fermée d'une quantité suffisante pour rétablir la pression.

347. Régulateur automatique d'alimentation du vin. — M. Guillaume a également imaginé un régulateur automatique d'alimentation, soit des vins, soit des flegmes dans les colonnes. Ce régulateur (fig. 327) est basé sur ce fait : dans un milieu à température donnée, la vapeur alcoolique aura une faculté de condensation plus ou moins grande, selon

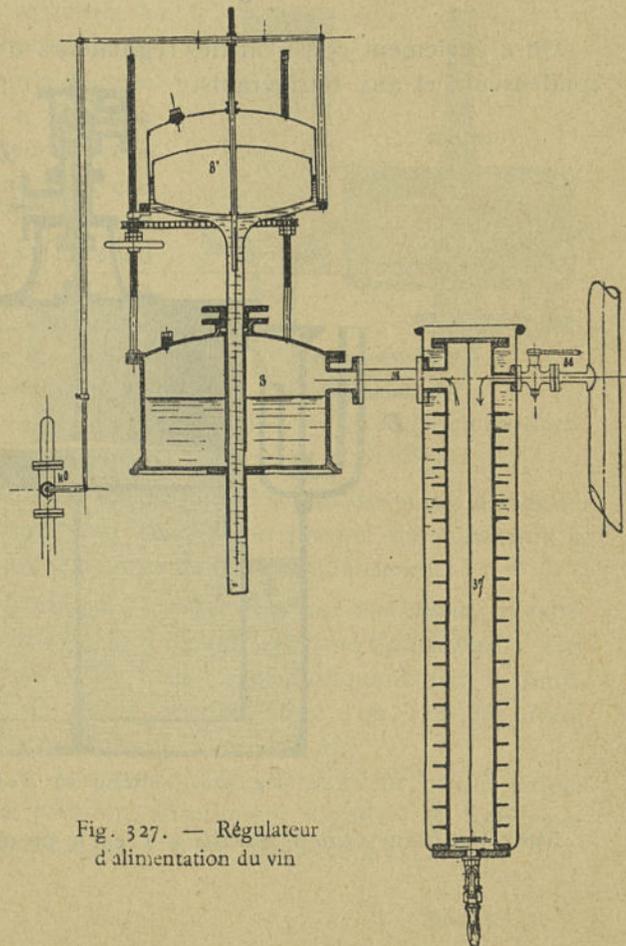


Fig. 327. — Régulateur d'alimentation du vin

qu'elle sera plus pauvre ou plus riche en alcool. Si la vapeur soumise au refroidissement devient plus riche en alcool, la condensation en est moindre, et la diminution de pression qui en résulte est moindre aussi.

Si au contraire cette vapeur s'appauvrit en alcool, la condensation augmente ainsi que la pression, de telle façon que, dans le premier cas, la pression demeurera plus forte que dans le second. On comprend donc que celle-ci, en agissant sur un régulateur de pression ordinaire, actionnera plus ou moins le flotteur, lequel agira à son tour sur la valve qui règle l'introduction du vin ou des flegmes dans les colonnes.

Ces vapeurs sont prises sur un plateau voisin du récipient volant, parce que c'est là où une variation de richesse a le moins de répercussion sur l'ensemble de la marche de la colonne.

Régulateurs d'eau

On a également construit des régulateurs d'arrivée de l'eau aux condenseurs et aux réfrigérants.

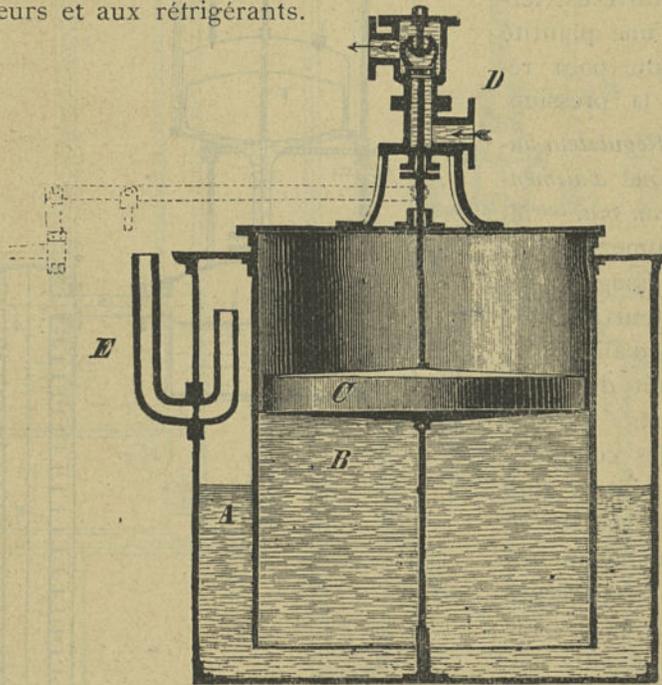


Fig. 328. — Régulateur d'eau de Savalle.

548. Régulateur d'eau de Savalle. — C'est le premier régulateur d'eau

véritablement complet qui ait été construit. Il est basé sur ce principe que plus la distillation est active, plus la pression est élevée dans le condenseur, et plus il faut d'eau pour condenser.

Ce régulateur est formé de deux vases (fig. 328), l'un extérieur A, l'autre intérieur B, remplis d'eau jusqu'à un certain niveau. Le vase extérieur A communique par un tuyau recourbé E avec le condenseur. Si la pression augmente dans le condenseur, l'air qui se trouve au-dessus du liquide, dans la bûche A, sera comprimé, fera monter l'eau dans le vase B, et soulèvera le flotteur C relié à la vanne de distribution d'eau. Celle-ci s'ouvrira davantage et laissera arriver une plus grande quantité d'eau dans le condenseur. La pression y diminuera bientôt, et le flotteur, par suite aussi le robinet d'eau, ne tarderont pas à reprendre leur position primitive.

549. *Régulateur d'eau de Pampe.* — Le premier régulateur d'eau construit par Pampe a simplement pour but de rendre aussi régulière que possible l'arrivée de l'eau dans le condenseur et le réfrigérant. C'est un réservoir A (fig. 329), en communication par un tuyau 2 fois recourbé D avec le bac à eau E. Dans le réservoir A se trouve un flotteur B relié à la soupape C. Quand le niveau de l'eau monte dans le réservoir E, elle arrive plus vite par le tuyau D et s'élève en A à une plus grande hauteur; elle soulève donc le flotteur B qui ferme la soupape d'alimentation du condenseur C.

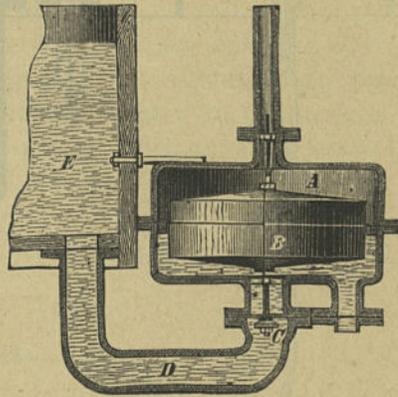


Fig. 329. — Ancien Régulateur d'eau de Pampe.

Dans ces dernières années Pampe a adopté comme régulateur d'eau son régulateur à membrane déjà utilisé pour la vapeur. Cet appareil est extrêmement sensible et permet de maintenir la pression rigoureusement constante dans les condenseurs.

550. *Régulateur automatique d'arrivée d'eau aux condenseurs et réfrigérants des colonnes à distiller et à rectifier, système Guillaume.* — Cet appareil se compose de deux vases communiquant par le fond, à l'aide d'un tuyau de petite section, que l'on remplit d'eau jusqu'au niveau du trop plein du récipient M.

Sur le vase M agit la pression du condenseur, dans lequel on veut maintenir la pression absolument régulière et uniforme, à l'aide de la communication 2 d'un diamètre très réduit.

Le niveau de l'eau est influencé par cette pression, et elle s'élève plus ou moins dans le réservoir N, où elle agit sur un flotteur qui agit lui-même sur la vanne d'arrivée d'eau au condenseur.

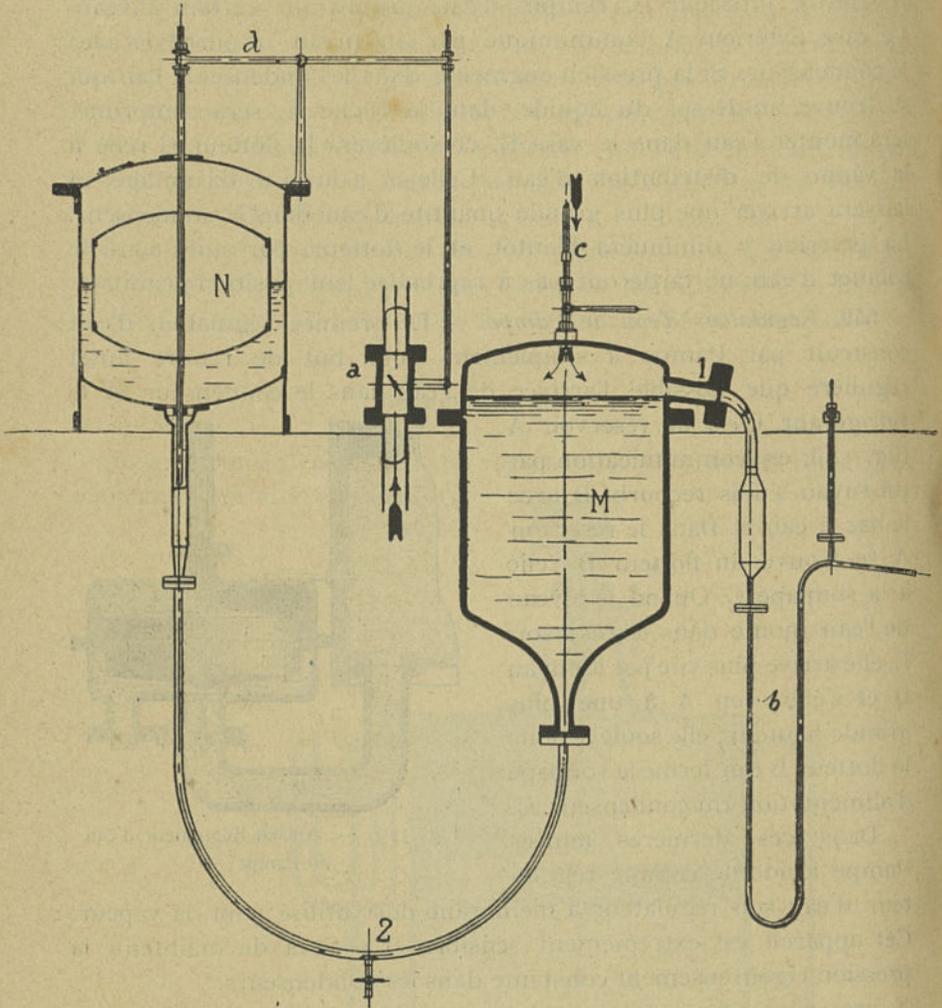


Fig. 330. — Régulateur automatique d'arrivée d'eau aux condenseurs et réfrigérants des colonnes à distiller et à rectifier, système Guillaume.

Cet appareil, d'un système fort simple, vaut surtout par sa disposition particulière qui empêche la production de fluctuations brusques d'un compartiment à l'autre et de toute agitation de l'eau dans le récipient M, de façon à ne pas mélanger l'eau

supérieure, légèrement alcoolisée, avec les couches inférieures.

Le fond du récipient M est d'une hauteur suffisante pour empêcher que de l'eau alcoolisée puisse passer dans le récipient à flotteur N.

Le trop-plein du récipient M s'opère au fur et à mesure par 1 et retourne, soit avec le vin à distiller, soit sur un des plateaux de la colonne.

Du reste, ce trop-plein fonctionne extrêmement peu puisqu'il n'y a pour ainsi dire pas de condensation dans le récipient M; les gaz ne s'y renouvellent pas et il se forme une chambre de gaz non condensables (air, acide carbonique ou autres), qui se maintiennent bien en équilibre de pression avec le condenseur, mais n'apportent pas, peut-on dire, de vapeurs alcooliques dans le récipient M.

Quoi qu'il en soit, la pratique démontre d'une façon complète qu'il n'y a jamais d'alcool *dans le récipient N*, dont le liquide se maintient, du reste, *toujours bien froid*.

Ce régulateur peut être appliqué à toutes les colonnes existantes et il donne une sécurité parfaite en réglant, dans des limites très étroites, la quantité d'eau à admettre au condenseur.

Appliqué à la Rectification, il assure la permanence du débit à l'éprouvette, quelles que soient les fluctuations du niveau de l'eau dans le réservoir de départ.

Ce régulateur est facile à appliquer à tous les appareils déjà installés.

Eprouvettes.

351. Pour pouvoir lire constamment le degré alcoolique et la température du liquide fourni par la distillation, on se sert encore souvent d'une simple éprouvette en cuivre rouge (fig. 331) dans laquelle le liquide entre par le bas pour sortir par le haut par une espèce de capsule et soulève plus ou moins un alcoomètre qui y plonge en même temps qu'un thermomètre. D. Savalle a remplacé cet appareil primitif par une éprouvette-jauge permettant de lire à la fois le degré, la température et le volume du liquide qui distille. Le liquide alcoolique venant du réfrigérant par le tuyau B se répand dans l'espace compris entre la tubulure C et le tube F. Le tube F se prolonge à la partie supérieure par un tube gradué en laiton muni à la partie supérieure d'un orifice d'écoulement et à la partie inférieure par une sphère G

sur laquelle se branchent trois robinets I J K servant à la distribution dans divers réservoirs des alcools suivant leur qualité respective. La tubulure C porte un robinet D servant à prélever des échantillons pour la dégustation, et elle supporte une éprouvette en cristal E avec couvercle.

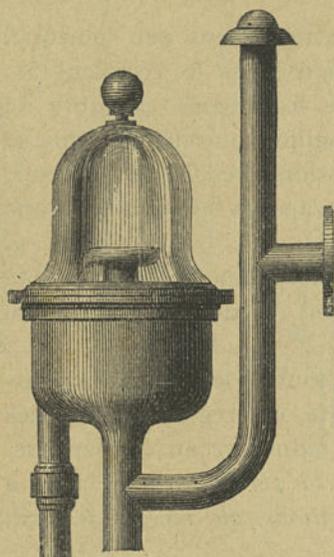


Fig. 331. — Eprouvette ancienne.

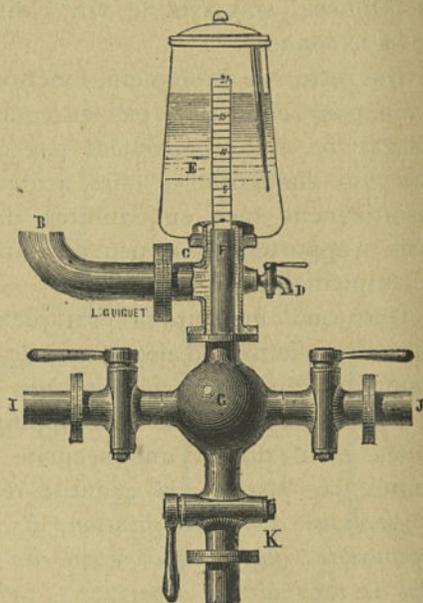


Fig. 332. — Eprouvette-jauge de Savalle.

Le liquide monte dans la cloche jusqu'à ce que la différence de niveau h entre sa partie supérieure et l'orifice soit suffisante pour que le volume écoulé dans l'unité de temps soit égal à celui qui arrive dans l'éprouvette. La vitesse de l'écoulement étant donnée par la formule $v = \mu \sqrt{2gh}$, la hauteur du liquide au-dessus de l'orifice permet de connaître le volume de flegme ou d'alcool que l'on produit par heure.

Mise en marche et conduite des colonnes à distiller

552. On commence par mettre de l'eau chaude dans la colonne en la faisant arriver par la partie supérieure à travers le chauffe-
vin, jusqu'à ce que la chaudière ou le soubassement de la colonne en renferme assez pour couvrir l'organe de chauffage : barboteur, serpentín.

On ouvre d'abord le robinet de purge des eaux condensées, puis doucement la valve ou le robinet de vapeur, de façon à éviter les claquements dans les tuyautages, et on porte le liquide à l'ébullition. La vapeur monte de plateau en plateau qu'elle chauffe successivement, elle arrive au chauffe-vin où elle se condense en échauffant le liquide qu'il renferme et elle coule à l'éprouvette. A ce moment on peut alimenter de vin froid ; celui-ci déplacera peu à peu l'eau chaude et sera chaud en arrivant dans la colonne.

On attend donc l'arrivée du distillat à l'éprouvette pour alimenter de vin froid. Si, en effet, pendant que la colonne est chaude et remplie de vapeur, on faisait arriver par le haut un liquide froid, il se condenserait brusquement une grande quantité de vapeur ; il en résulterait un vide, et la pression atmosphérique pourrait aplatir la colonne, surtout si celle-ci est en cuivre. Cet accident se produisait autrefois très souvent. Pour l'éviter, on a muni les appareils de petites soupapes dites renifflards, qui livrent passage à l'air dès qu'une dépression se produit dans l'appareil. Mais le renifflard peut mal fonctionner, et en tout cas il importe de ne pas faire arriver de liquide froid *dans la colonne* pour ne pas déranger son fonctionnement. La décharge brusque de plusieurs plateaux dans les plateaux placés en-dessus emplit ceux-ci complètement de liquide ; ces plateaux engorgés arrêtent la circulation de la vapeur, et par suite le coulage à l'éprouvette ; les ouvriers disent que la colonne est *noyée*.

On évite ces accidents en faisant arriver le liquide aussi chaud que possible dans la colonne. Nous avons vu que c'est d'ailleurs une condition à réaliser pour avoir une dépense de vapeur aussi réduite que possible.

Pour accélérer la remise en marche d'une colonne et éviter les ennuis qui peuvent résulter de l'impatience de l'ouvrier distillateur, on dispose parfois dans le fond du chauffe-vin un petit tuyau barboteur pour réchauffer le vin froid qui s'y trouve après un certain temps d'arrêt.

Pour la conduite d'une colonne à distiller, l'ouvrier n'a à régler que l'alimentation du vin et l'admission de la vapeur quand il n'y a pas de régulateur de vapeur. Pour régler l'admission de la vapeur on observe le manomètre qui indique la pression dans la chaudière ou dans le soubassement de la colonne. La pression nécessaire varie suivant le travail qu'il s'agit d'effectuer, c'est-à-dire suivant le volume de moût à distiller par heure. Elle est ordinairement de 1^m,20 à 2^m et quelquefois plus.

On règle l'alimentation du vin en se guidant sur le degré à l'éprouvette. Si on ouvre l'alimentation, on introduit plus d'alcool dans la colonne, le vin y entre momentanément plus froid et on augmente le volume de la rétrogradation dans la colonne de rectification s'il s'agit d'un appareil à haut degré : le degré augmente à l'éprouvette ; la richesse alcoolique augmente également sur les plateaux de la colonne, et si l'alimentation est trop forte, la vinasse peut sortir incomplètement épuisée de la chaudière ou du soubassement de la colonne. Donc, quand il s'agit d'augmenter le travail horaire de la colonne, on commandera à l'ouvrier de maintenir un degré plus élevé à l'éprouvette ; on lui dira, par exemple, de faire du 50-55 au lieu du 40-45 ou du 80-85 au lieu du 70-75, suivant qu'il s'agit de faire du bas ou du haut degré ; mais en même temps il faudra surveiller l'épuisement des vinasses.

Pour contrôler l'épuisement des vinasses, on prélève au sortir de la colonne 10 litres de vinasse qu'on introduit dans la chaudière d'une petite colonne à distiller à plateaux perforés, ou mieux à calottes avec condenseurs à eau et réfrigérant. Si l'appareil est loin de la colonne, on doit faire passer la vinasse par un serpentin plongeant dans l'eau froide, afin de la refroidir et d'éviter l'évaporation pendant le transport. On chauffe la chaudière très doucement afin d'éviter les entraînements et on recueille 100 cc. dans une petite éprouvette dans laquelle on introduit un alcoomètre.

Quand la colonne n'a ni régulateur d'alimentation, ni régulateur de vapeur, l'ouvrier règle l'alimentation et l'admission de vapeur par des robinets de façon à avoir la pression voulue dans la chaudière ainsi que le coulage et le degré voulus à l'éprouvette. Quand il existe un régulateur de vapeur, il ne reste que l'alimentation à régler. On augmente l'alimentation quand le degré à l'éprouvette baisse.

Chaque colonne doit être munie d'un manomètre indiquant la pression au bas de la colonne (pression qui ne doit pas dépasser 1 m. à 1 m. 20 d'eau), d'un thermomètre indiquant la température du vin entrant dans la colonne, d'un manomètre indiquant la pression de la vapeur servant au chauffage d'un alcoomètre et d'un thermomètre indiquant le degré et la température du flegme coulant à l'éprouvette.

Dans le bâtiment des colonnes doit se trouver une petite colonne distillatoire ayant une chaudière de 10 à 20 l. de capacité pour

contrôler l'épuisement des vinasses. Le fonctionnement de cet appareil doit être discontinu, les contrôleurs à marche continue ne présentant pas une garantie suffisante. Un contrôleur continu n'est pas à déconseiller, mais on doit le contrôler lui-même par un appareil discontinu.

Les essais doivent être assez fréquents, 4 ou 5 par 24 heures, car il ne suffit pas de s'assurer que le vin est épuisé, il faut encore être certain que le but n'est pas par trop dépassé (vinasse épuisée longtemps avant d'arriver dans le soubassement), ce qui occasionnerait un surcroît de dépense de combustible absolument inutile et même une moins bonne qualité des flegmes.

Quand tout est normal, l'épuisement doit être absolu : un décilitre provenant de la distillation de 10 l. de vinasse doit marquer 0 à l'alcoomètre, et, s'il s'agit d'une colonne à bas degré, les flegmes doivent avoir un degré qui correspond à la richesse du vin d'après la table de Grœning ou celle de Sorel.

Si l'alcoomètre marque 0,5 % les vinasses renferment $\frac{0,5}{100} = 0,005$ % d'alcool. Pour un travail de 1,000 hectolitres de vinasse par jour, cela représente $1,000 \times 0,005 = 5$ litres ce qui est bien négligeable.

Il est recommandable de ne jamais attendre qu'une colonne soit bien mise en route pour contrôler son épuisement ; bien au contraire, c'est surtout la mise en marche des appareils qu'il faut surveiller de près.

Pour achever le contrôle industriel de la distillation, il faut vérifier le rendement obtenu. On opère ainsi :

Chaque jour, à peu près à la même heure, quand on a fini de distiller une cuve, on calcule d'une part les quantités de matière première mise en œuvre et, d'autre part, la quantité d'alcool produite : on obtient ainsi le rendement industriel, qui doit être au moins égal à celui trouvé en distillant le vin au laboratoire comme nous l'expliquerons à propos du contrôle chimique. Nous disons au moins égal, car nous avons toujours remarqué que, quand le travail était bon, le rendement de l'usine était légèrement supérieur à celui du laboratoire, ce qui tient à des pertes qui se produisent toujours en plus forte proportion dans les petits appareils que dans les grands. Cela paraît paradoxal, au premier abord, mais çà s'explique parfaitement, comme nous le verrons dans la suite. C'est du vin qu'on distille pour faire le rendement et non de l'eau alcoolisée.

Dépense de vapeur des colonnes à distiller

553. On ne peut pas calculer *a priori* la dépense de combustible d'une colonne dont la construction est donnée : les calculs minutieux auxquels on se base dans certains ouvrages sont sujets à caution, parce qu'on y admet deux choses qui ne sont nullement exactes : 1° On admet des chauffe-vin et des récupérateurs parfaits, ce qui n'existe pas ; 2° On admet encore que la vapeur qui se dégage du plateau d'alimentation, c'est-à-dire du plateau supérieur, a le degré qui est indiqué pour les tables de Groening ce qui, non plus, n'est pas le cas.

A. *Par l'expérience.* On peut déterminer la dépense de vapeur d'une colonne en fonctionnant de deux manières différentes : 1° par l'expérience directe ; 2° par le calcul.

Pour le premier cas, le mode varie suivant que l'on chauffe par barbotage ou autrement.

1° par barbotage. — Dans ce cas on mesure exactement pendant un certain temps le volume M de moût qui entre et les volumes V de vinasse et de flegme qui sortent. Le volume d'eau employé sous forme de vapeur est

$$E = (V + F) - M$$

Si on compte que la densité de la vinasse chaude est égale à 1,0, celle du moût est indiquée à la cuverie et pour le flegme il n'y a qu'à prendre la densité correspondant à sa richesse.

$$(V + Pr) - P_m = \text{poids de vapeur dépensé}$$

2° On chauffe par surface métallique. Dans ce cas, on opère comme suit : On mesure pendant un certain temps le volume exact de moût entré dans la colonne et le volume de flegme recueilli, et en même temps on reçoit dans des fûts l'eau qui s'écoule par le purgeur automatique.

Soit M le volume de moût distillé et P le poids de vapeur condensé : la consommation de vapeur par hecto de moût est $\frac{P}{M}$. Le volume et le degré du flegme servent à contrôler le volume de moût. En effet si d est le degré du flegme et r la richesse du moût, on doit trouver $M \times r = F \times d$ donc $M = \frac{F \times d}{r}$

B. *Méthode par calcul.* On prend exactement le volume, la densité, la température et la richesse du vin distillé dans un

certain temps, du flegme et de la vinasse produits, et on fait la balance entre la chaleur entrée par le vin et elle qui est sortie par le flegme et la vinasse en comptant la chaleur spécifique des flegmes d'après la table des constantes physiques de Jamin et Amaury. Cette méthode n'est exacte que quand on n'utilise ni la condensation à l'eau ni la réfrigération au vin. Si l'on utilise la condensation à l'eau, comme le font souvent les Allemands, il faut mesurer cette eau et constater les températures initiale et finale. La quantité de chaleur emportée par cette eau est ajoutée. Quand on se sert de la réfrigération au vin, il faut au contraire retrancher la quantité de chaleur restituée à la colonne ; par conséquent, au lieu de compter le vin par la température qu'il possède en venant des cuves, on le comptera pour celle qu'il a en sortant de la colonne.

Si on a trouvé par exemple 9 à 10.000 cal. par hecto de vin pour une colonne n'employant pas le vin à la réfrigération et que grâce à cet emploi, on fait entrer le vin venant à 20° des cuves à 80° dans la colonne, la quantité de chaleur récupérée par 100 kilos de vin sera en lui comptant une chaleur spécifique égale à 1 et en admettant que les degrés soient les mêmes $100 \times (80 - 20) = 6000$ calories. Mais si par la rétrogradation on arrive à faire des flegmes à 60 au lieu de 40, on aura, pour 1 hecto de vin à 5,0 (par exemple), à faire sortir en moins de la colonne 4 l. 1 ou 4 k. 1 d'eau à 537 cal. = 2148 cal. L'économie sera encore au profit de la réfrigération au vin $6000 - 2148 = 3850$ calories.

Par conséquent on aura pour la première colonne une dépense de vapeur de 10.000 calories = $\frac{10.000}{537} = 18$ k. 6 de vapeur par hecto de vin à 5 ou $\frac{18 \text{ k. } 6 \times 100}{5} = 37$ k. 2 vapeur par hecto d'alcool, ou encore $\frac{37,2}{8} = 46$ k. de charbon.

Pour la 2^e colonne on aura $\frac{10.000 - 3.850}{537} = 11$ k. 4 vapeur ou $\frac{11,4 \times 100}{5} = 228$ k. vapeur par hecto ou encore $\frac{228}{8} = 28$ k. 5 de charbon.

CHAPITRE XXXII

Rectification de l'Alcool

554. Nous avons vu que pour séparer l'alcool éthylique de l'eau et des impuretés fixes (non volatiles) qui l'accompagnent, on se base sur la différence de volatilité entre l'alcool et ces impuretés, et on soumet le liquide à la distillation.

Mais dans cette distillation l'alcool n'est pas le seul composé qui quitte l'appareil: d'autres produits, tels que l'aldéhyde éthylique CH_3COH , bouillant à 22°C ; l'aldéhyde propionique (48.7°), l'a. acrylique ou acroléine (52°), le formiate d'éthyle (54.03°), l'aldéhyde isobutyrique (62°), l'acétate d'éthyle (77°), passent aussi à la distillation et même généralement plus vite que l'alcool, car ils sont plus volatils. Les produits moins volatils, tels que l'alcool isopropylique (83°), l'acétate d'isopropyle (91.03°), l'aldéhyde isovalérique (92.05°), l'alcool allylique (97°), l'alcool propylique primaire (97°), l'acétate d'allyle (97°) l'alcool butylique secondaire (99°), passent également, quoique généralement moins vite que l'alcool. Il passe même des produits bouillant à plus de 100° : tels sont l'acétate de propyle (100.08°), l'acétal $\text{CH}^2\text{CH}(\text{OC}^2\text{H}^5)_2$ (104°), l'alcool isobutylique primaire (ou de fermentation) (108°), l'isobutyrate d'éthyle (110.01°), l'acétate de butyle secondaire (111°), l'alcool butylique normal (116°), l'acétate d'isobutyle primaire (116.04°), l'acide acétique (117.03°), le butyrate d'éthyle (121°), l'acétate de butyle normal (125.01°), l'alcool isoamylique actif primaire de fermentation (127°), l'alcool isoamylique primaire inactif de fermentation (132°), l'isovalérate d'éthyle (134.03°), l'acétate d'isoamyle primaire (137.06°), l'acétate d'isoamyle actif (144°), l'acide butyrique (160°), le caproate d'éthyle (162°), le furfurol (162°).

Aux impuretés qui distillent beaucoup plus vite que l'alcool et qui se trouvent parmi les premières parties de liquide distillé, on a donné le nom d'impuretés de tête; à celles qui passent plus lentement que l'alcool et qu'on retrouve généralement dans les produits de la fin, on a donné le nom de produits de queue.

D'une façon générale, une impureté passe d'autant plus rapidement à la distillation que son point d'ébullition est plus élevé; mais, ceci n'est pas une règle absolue, car les différentes impuretés sont plus ou moins solubles dans l'eau, dans l'alcool et

même les unes dans les autres, et la solubilité d'une impureté dans le liquide que l'on soumet à la distillation contraire ou même empêche le départ de cette impureté.

Coefficients de rectification.

535. Dans la rectification il ne s'agit plus simplement de séparer l'alcool de l'eau, il faut en outre séparer de l'alcool éthylique, restant toujours plus ou moins aqueux, les impuretés dissoutes dans le mélange d'eau et d'alcool.

De même que pour la distillation, on a dressé des tables (Grœning, Pampe, Doenitz, Sorel) et des courbes donnant la loi de la concentration du liquide et des vapeurs qu'il engendre, de même il est très intéressant d'avoir des tables et des courbes donnant les mêmes lois pour les impuretés qu'on rencontre généralement dans les alcools bruts. C'est ce qui a été fait par M. E. Sorel.

Si l'on porte à l'ébullition un mélange de deux liquides solubles l'un dans l'autre, il y a une relation constante K entre le taux de l'impureté dans les vapeurs et le taux de l'impureté dans les liquides. $K = \frac{I_v}{I_l}$ d'où $I_v = KI_l$. Le taux d'impureté dans la vapeur est d'autant plus petit que l'impureté est retenue plus énergiquement par le liquide, c'est-à-dire qu'elle y est plus soluble, par conséquent K est inversement proportionnel à la solubilité de l'impureté, c'est-à-dire encore que $\frac{1}{K}$ est le coefficient de solubilité dans l'alcool bouillant. K est donc une espèce de coefficient de rectification r_1 du liquide. Le coefficient de rectification de la vapeur est l'inverse de K $r_1 = \frac{1}{K}$.

Mais ces coefficients de rectification ne tiennent pas compte de la concentration en alcool éthylique qui se poursuit en même temps que s'opère le départ de l'impureté. En appelant C ce coefficient de concentration, le véritable coefficient de rectification pour le liquide est $R_1 = K \times \frac{1}{C} = r_1 \times \frac{1}{C}$

Un exemple fera mieux comprendre :

D'après les recherches de M. Sorel, de l'alcool à 25° G L, et contenant 1 % d'impuretés amyliques par rapport à l'alcool éthy-

lique seul, soit cc, 25 % cc. du liquide générateur, a pour kg. une valeur de 5,5; c'est-à-dire que la vapeur alcoolique engendrée, au lieu de n'avoir que 0^{cc} 25 % d'alcool amylique en aura :

$$0,25 \times 5,5 = 1^{\text{cc}}, 375 ;$$

Mais un liquide à 25° G. L. donne une vapeur à 75, 1 d'après la table de Groening et 68,0 d'après Sorel. Donc l'impureté dans la vapeur, c'est-à-dire le taux de l'alcool amylique par rapport à l'alcool éthylique sera de $1,375 \times \frac{100}{68} = 2,02$. Le taux de pureté dans la vapeur ne montera que de 1 à 2,02 au lieu de 5,5. Le coefficient de concentration est ici de $\frac{68}{25} = 2,72$, et on a directement pour $5,5 \times \frac{1}{C} = 5,5 \times \frac{1}{2,72} = 2,02$.

M. Sorel a dressé des tables et des courbes donnant les valeurs de $n_1 = K$, c'est-à-dire les coefficients de départ de l'impureté inverse du coefficient de solubilité dans l'alcool bouillant, M. Barbet (1) a trouvé préférable de dresser des tables donnant les véritables coefficients de rectification du liquide $R_1 = K \times \frac{1}{C}$ ou $K' = K \times \frac{1}{C}$.

Pour faire ressortir l'avantage qu'il y a à considérer les véritables coefficients de rectification $K' = K \times \frac{1}{C}$, M. Barbet prend l'exemple d'un alcool à 1° G L renfermant de l'alcool amylique. D'après les chiffres de M. Sorel, la vapeur contiendrait 33 fois plus de fusel que le liquide primitif, tandis que le coefficient de rectification K' n'est que de 2,5, c'est-à-dire que la purification obtenue se réduit à fort peu de chose.

Dans le diagramme de la fig. 335, M. Barbet, tracé la ligne des abscisses au point $K' = 1$, puis au-dessus du point d'origine, il a divisé la ligne des ordonnées en intervalles égaux correspondant à $K' = 2$, $K' = 3$, etc...

Au-dessous de l'origine, il a continué les mêmes divisions à la même échelle pour les numéroter suivant les fractions $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$, etc... Il serait incorrect de n'attribuer qu'une seule division entre $K' = 1$ et $K' = 0$ comme on serait tenté de le faire *a priori*. Le but, en effet, est de figurer la proportion relative d'impureté qui existe dans le liquide générateur et dans la vapeur engendrée; si vers 60° le coefficient de purification de l'alcool amylique est par exemple $K' = 0,50$, ou $K' = \frac{1}{2}$, cela

(1) *La rectification et les colonnes rectificatives*, chez E. Bernard et C^e, 1895.

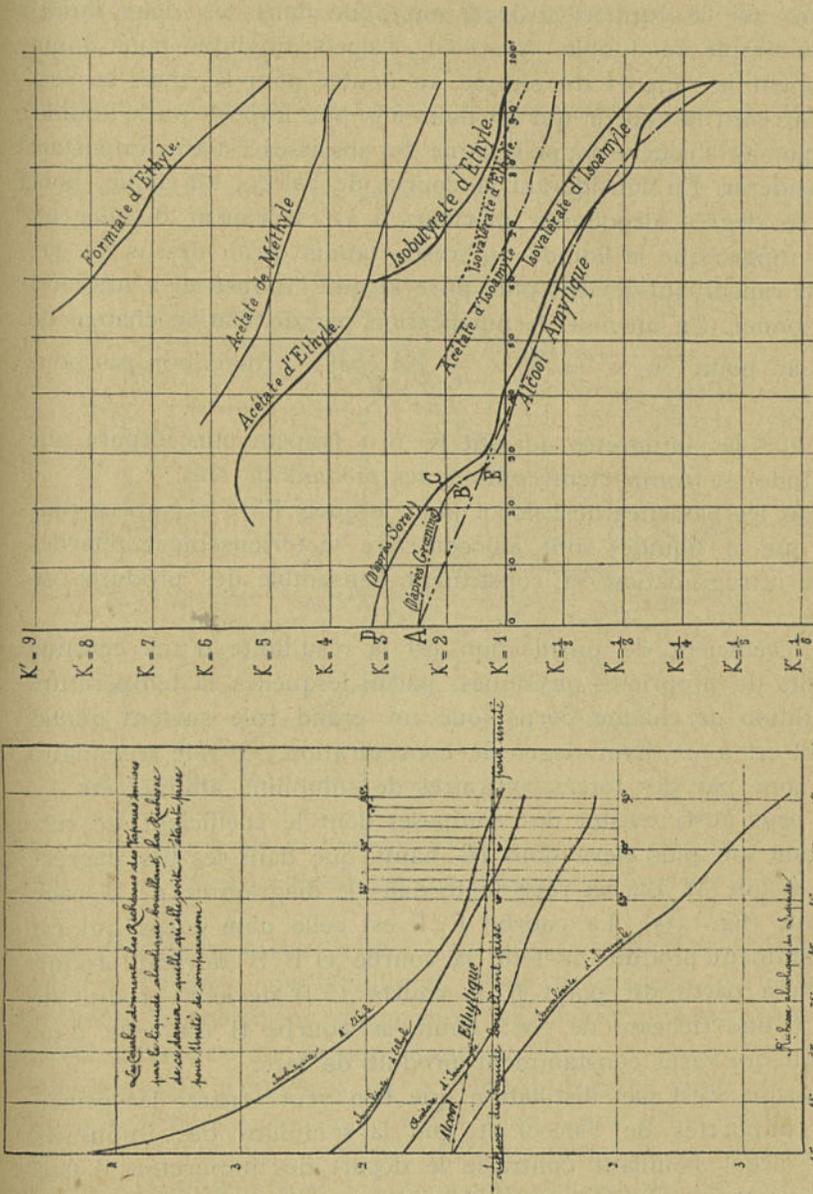


Fig. 334. — Mise en graphique par M. Barbet des valeurs de $K' = K \times \frac{1}{C}$ (coefficients de rectificat.).

Fig. 333. — Mise en graphique par M. Guillaume des valeurs de K (coefficients d'entraînabilité).

Les deux graphiques ci-contre sont très intéressants et présentent chacun ses avantages. Celui de M. Guillaume ne donne pas les véritables coefficients de rectification des impuretés, mais il laisse subsister la courbe de l'alcool éthylique donnant les valeurs de C (coefficient de rectification de l'alcool). Le simple rapport $\frac{K}{C}$ donne le véritable coefficient de rectification des impuretés dont la distillation en présence de l'alcool éthylique a été étudiée par M. Sorel.

signifie que le rapport d'alcool amylique dans les deux fluides est du simple au double. A 25° GL, l'alcool amylique nous donne également le rapport du simple au double pour K' , mais en sens inverse: c'est la vapeur qui est deux fois plus impure que le liquide. Le point où la courbe coupe la ligne des abscisses est très important à considérer. En considérant la courbe de l'alcool amylique, pour tous les degrés alcooliques inférieurs à 42°, la vapeur distillée est plus impure que le liquide qui reste, tandis qu'au-dessus de 42°, c'est la vapeur qui devient plus pure et que l'industriel a intérêt à sélectionner. En un mot, la purification par distillation change de signe au point où $k' = K \times \frac{1}{C}$ est égal à 1 (mais non pas pour $K = 1$).

Toutes les impuretés qui ont $K' > 1$ (vapeur plus impure que le liquide) se comportent comme des *produits de tête*.

Tous les parasites de l'alcool pour lesquels $K' < 1$ (vapeur plus pure que le liquide) sont au contraire victorieusement retardés par la rétrogradation et constituent l'ensemble des produits de queue.

Le coefficient de purification est la résultante d'une certaine quantité de propriétés physiques, parmi lesquelles la température d'ébullition de chaque corps joue un grand rôle surtout quand l'alcool est à un haut degré de concentration; le rôle secondaire étant joué par des forces contraires de solubilité, affinité, etc.

Il peut aussi exister des composés dont le coefficient de rectification soit plus élevé dans les hauts que dans les bas degrés: c'est ce que M. Barbet représente dans le diagramme de la page suivante (fig. 335). La courbe E F est celle d'un corps qui est constamment produit de tête, la courbe O B B' devient produit de tête à partir du point B, la courbe C D devient produit de tête à une richesse de 70°; enfin, la courbe H est celle d'un produit qui reste constamment produit de tête.

Puisque c'est par distillation que l'on veut séparer les principales impuretés de l'alcool et que la solubilité des impuretés dans l'alcool bouillant contrarie le départ des impuretés, il faut rendre cette solubilité aussi faible que possible.

Comme cette solubilité augmente généralement avec la concentration de l'alcool, on la diminue en ramenant la richesse alcoolique entre 30 et 40° Gay-Lussac.

En effet, $\frac{1}{K}$ étant le coefficient de solubilité d'une impureté dans l'alcool bouillant, le départ d'une impureté est d'autant plus

rapide que K est plus grand, c'est-à-dire que l'impureté est moins soluble, et le coefficient d'épuration est $K' = \frac{K}{C}$, C étant le coefficient de rectification de l'alcool (On pourrait dire de même que $\frac{1}{C}$ est un coefficient de solubilité de l'alcool fort dans l'alcool faible en ébullition dans la chaudière).

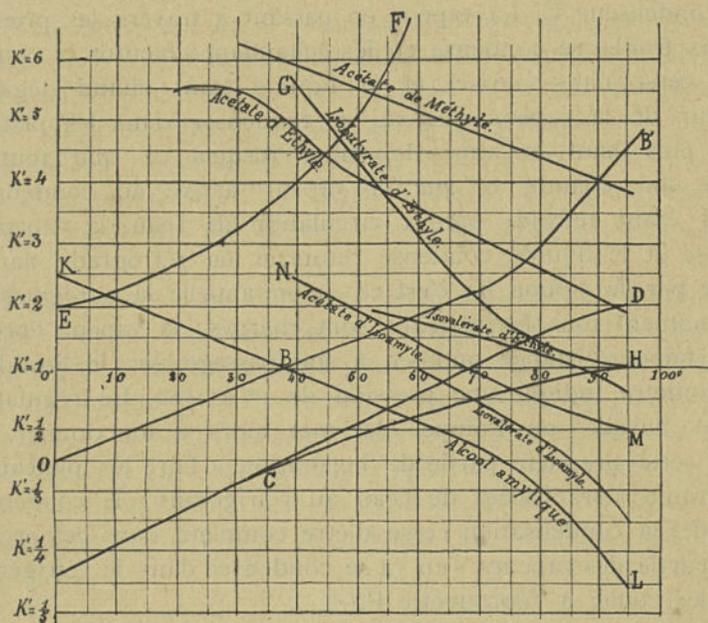


Fig. 335. — Diagramme figurant des impuretés connues et inconnues (Barbet).

Ces coefficients varient avec le degré de concentration de l'alcool soumis à l'analyse par ébullition. Pour la majeure partie des impuretés, le coefficient d'épuration augmente à mesure que la richesse alcoolique du liquide diminue.

L'isobutyrate d'éthyle a un coefficient à peine supérieur à 1 pour une richesse alcoolique de 93°, tandis qu'à 40° ce coefficient monte à 5,5. L'acétate d'éthyle, dont le coefficient est de 1,75 à 95°, a un coefficient égal à 5 pour une richesse de 38°.

Tandis que la distillation se fait depuis longtemps par une opération méthodique continue, la rectification se fait généralement encore d'une façon méthodique mais discontinue.

Le flegme ramené à 30-40° centésimaux est chargé dans une chaudière A (fig. 337) surmontée d'une colonne B à petites calottes ou à plateaux perforés. Cette colonne est surmontée d'un condenseur C,

et au-dessous de celui-ci se trouve un réfrigérant R. La chaudière est chauffée par 2 serpentins dont l'un reçoit de la vapeur directe et l'autre de la vapeur d'échappement.

On ouvre le robinet de purge 2 et on fait passer de la vapeur dans le serpentin pour faire bouillir le liquide. Quand, en posant la main sur les plateaux inférieurs, on constate qu'ils sont chauds, on ouvre le robinet 4 qui alimente d'eau froide le réfrigérant R et le condenseur C. La vapeur, en passant à travers les premiers plateaux froids, se condense en les échauffant; bientôt la condensation cesse dans ceux-ci et le liquide étant chaud dégage à son tour de la vapeur qui va se condenser dans les plateaux placés plus haut, et ainsi de suite, jusqu'à ce que toute la colonne soit chaude et que la vapeur arrive au condenseur. Celui-ci étant refroidi par la circulation de l'eau, la vapeur se condense et le liquide condensé retourne ou rétrograde dans la colonne par le siphon h; c'est ce qu'on appelle la *rétrogradation*. A ce moment tous les plateaux sont chargés; la vapeur éprouve une certaine résistance opposée à son passage par le liquide et le manomètre indique une pression de 1^m à 1^m80. Le régulateur, système Savalle ou Pompe, se met alors à fonctionner. On appelle cette première partie de l'opération « faire les plateaux. » On diminue alors l'accès de l'eau au réfrigérant; le condenseur s'échauffe, la condensation cesse d'être complète, dans cet organe, et une partie des vapeurs s'en va se condenser dans le réfrigérant, pour aller couler à l'éprouvette F.

1^o Les premiers produits que l'on recueille sont naturellement les plus entraînés, ils contiennent surtout des aldéhydes (éthylque, propylque, isobutylque) et des éthers (formiate et acétate d'éthyle) et ont une odeur très forte, généralement très désagréable: pour cette raison on leur donne le nom de *mauvais goûts de tête*. On met à part ces produits.

2^b Il passe ensuite de l'alcool éthylique mélangé à une petite quantité des aldéhydes et éthers précédents et quelquefois des traces d'autres à coefficient d'entraînabilité K plus élevé (aldéhyde isovalérique, acétates d'allyle, de propyle) mélangés à des traces d'alcools supérieurs. On fait un deuxième lot qu'on appelle *moyen goût de tête*.

3^o Pendant la troisième phase de l'opération, il passe de l'alcool éthylique presque pur.

Pendant cette période, le degré baisse fortement dans la chaudière; la température d'ébullition monte sensiblement; elle passe

de 85 à 98, 100, et le degré à l'éprouvette baisse légèrement de 96 à 95. Finalement, le degré à l'éprouvette devient trop faible pour que l'alcool soit marchand, et l'alcool contracte une odeur désagréable. On change les robinets pour mettre à part ce qu'on a récolté pendant cette troisième phase. Ce lot porte le nom de *bon goût*.

4° Pendant la quatrième phase, on recueille un produit contenant, à côté de l'alcool éthylique, une notable proportion de produits bouillant à une température supérieure à celle de l'alcool éthylique, et plus solubles dans l'alcool bouillant, notamment de l'alcool isopropylique (83°), de l'alcool propylique primaire (97°), de l'alcool butylique secondaire (99°) et des éthers à points d'ébullition élevé, notamment de l'acétate d'isopropyle, de l'acétate de propyle (100°), etc. On donne à ce lot le nom de *moyen goût de queue*.

Que se passe-t-il au début de cette période? Le liquide de la chaudière ayant beaucoup baissé en degré, les alcools amyliques deviennent insolubles: n'étant plus retenus par la force de dissolution du liquide de la chaudière, ils sont entraînés par la vapeur; mais, celle-ci venant barboter dans un liquide plus alcoolique à mesure qu'elle monte de plateau en plateau, les alcools supérieurs (vulgairement appelés huiles), se redissolvent et ne peuvent arriver au condenseur tant que la colonne est suffisamment chargée d'alcool.

5° Enfin, le point d'ébullition monte à 103: le produit à l'éprouvette devient laiteux. Il ne passe plus que très peu d'alcool éthylique avec beaucoup d'alcools supérieurs, notamment de l'alcool isoamylique actif primaire de fermentation (127°), de l'alcool isoamylique primaire inactif (132°), des éthers.

On donne à ce cinquième lot le nom de *mauvais goût de queue*.

Pour produire avec un alcool brut ou flegme le maximum d'alcool bon goût, il faut concentrer les produits très volatils, dits produits de tête, dans le plus petit volume possible.

Nous avons déjà vu que pour faciliter l'expulsion de ces produits ou pour augmenter leur coefficient d'épuration K, on ramène aux environs de 40, le degré dans la chaudière. Ce qui retarde souvent le travail d'un rectificateur, c'est la mauvaise construction de la colonne et surtout celle du condenseur.

La colonne peut pécher par manque de contact intime entre le liquide descendant et la vapeur ascendante. A ce point de vue

les grandes calottes rondes ou longues sont insuffisantes; les petites calottes multiples donnent de meilleurs résultats: mais le meilleur système est encore celui des plateaux perforés. Ceux-ci *molécularisent*, pour ainsi dire, le liquide, et toute leur surface est utilisée; mais ils occasionnent facilement des entraînements. Pour en tirer le maximum d'effet utile, il faut que le liquide soit étalé en nappe très mince à la surface du plateau, et que le liquide d'un plateau ne soit pas projeté sur la surface inférieure du plateau placé immédiatement au-dessus. Les gouttelettes de liquide entraînées par la vapeur ne doivent pas s'élever à plus des deux tiers de la distance qui sépare deux plateaux consécutifs, en sorte que le troisième tiers est utilisé à produire la séparation entre le liquide et la vapeur, et que celle-ci arrive seule jusqu'au plateau suivant. Pour cela la distance entre deux plateaux doit être d'au moins 150^{mm}. On lui donnera par exemple 200^{mm}.

Ce genre de plateau exige une pression très régulière dans la chaudière et la colonne; si la pression devient exagérée, il y aura des entraînements; si, au contraire, elle s'abaisse notablement, les plateaux vont se décharger, c'est-à-dire se dégarnir de liquide, et l'appareil sera dérégulé.

La marche de l'appareil est d'autant plus délicate qu'on cherche à marcher à plus basse pression. Pampe a construit des appareils fonctionnant avec une pression de 700^{mm} où les trop-pleins et par conséquent les couches de liquide sur les plateaux n'avaient que 15^{mm} de hauteur. Il va sans dire que dans ce cas il faut un régulateur de pression excessivement sensible et que la moindre diminution de pression dans la chaudière décharge les plateaux.

Le condenseur a bien souvent une surface insuffisante. Pour avoir de bons alcools il faut un volume suffisant de rétrogradation et pour cela le condenseur doit avoir une surface de tubes de 6 à 7 mq. par hectolitre de liquide coulant à l'éprouvette.

Quant au réfrigérant, il doit évidemment être beaucoup trop fort pour assurer non seulement une condensation totale, mais encore un refroidissement suffisant. On lui donne 8 mq. par hectolitre coulant à l'éprouvette.



Appareils de rectification.

556. Nous avons déjà parlé (page 11) d'un rectificateur rudimentaire constitué par un ballon fermé par un long tube de verre. Nous avons dit que dans ce tube il se forme une série de condensations et de réévaporations qui produisent la concentration et la rectification de l'alcool. En outre, nous avons vu comment on fait la concentration de l'alcool et même la séparation de certaines impuretés dans les colonnes à haut degré.

La rectification discontinue est une distillation fractionnée. L'appareil de distillation fractionnée le plus généralement usité dans les laboratoires est le tube de Le Bel et Henninger (fig. 336). Il est formé d'un ballon au-dessus duquel on place un tube portant des renflements placés les uns au-dessus des autres. Ces boules sont reliées les unes aux autres par des tubes latéraux qui déversent le trop-plein dans la boule inférieure, pendant que les vapeurs montent par la colonne centrale, interrompue par des morceaux de toile de platine ou des billes de verre, en barbotant à travers le liquide contenu dans la boule. Par suite de ce barbotage, les liquides se succèdent dans les boules suivant la valeur de leur coefficient de rectification (inverse du coefficient de solubilité dans l'alcool bouillant); c'est-à-dire *grossomodo* que les liquides les plus volatils se trouvent dans la boule supérieure. La distillation se poursuivant, les liquides se fractionnent: on peut ainsi séparer les liquides volatils de l'alcool et celui-ci de l'eau.

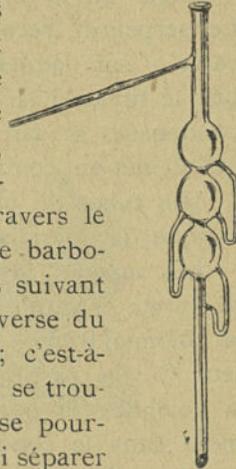


Fig. 336.

Dans cet appareil le rapport de la surface de refroidissement de chaque plateau au volume du liquide contenu dans le même plateau est bien des fois plus grand que dans les plateaux d'appareils industriels, en sorte que l'on peut dire que le tube de Le Bel et Henninger est une colonne où chaque plateau serait surmonté d'un petit condenseur. M. Barbet fait remarquer avec raison que cet appareil a un vice de principe parce qu'il est à condenseurs successifs, ce qui est le moins efficace de tous les moyens de fractionnement. (Voir plus loin notre étude sur le rôle du condenseur). Le résultat est donc incomplet et la conduite de l'appareil est extrêmement délicate, parce que le moindre courant d'air fait varier le coulage dans de grandes limites.

Appareils industriels à rectifier

537. Nous représentons d'abord fig. 337, l'ancien rectificateur à colonne ronde et à plateaux perforés (fig. 294) de Savalle.

C'est A. Savalle qui a importé en France ce genre de plateaux. Il s'en servit d'abord, tant pour la *distillation* des moûts clairs de betterave et de mélasse que pour la *rectification*. L'acidité des moûts produisant rapidement l'agrandissement des trous, on abandonna ces plateaux pour la distillation, mais on continue de s'en servir pour la rectification, et ces appareils jouirent pendant longtemps d'une réputation considérable.

Dans l'appareil de la fig. 337, le flegme du bac I est chargé par le tuyau n dans la chaudière A. Le robinet 3 sert à la vidange. On le ramène à 40° GL dans le bac ou dans la chaudière. Le serpentin reçoit sa vapeur en l par un tuyau portant une valve 1 sur laquelle agit le régulateur E. Ce régulateur reçoit par le tuyau J la pression de la chaudière. La purge des eaux condensées se fait par le tuyau 2 dont on règle le robinet ou qu'on met en communication avec un purgeur automatique.

Des tubes de niveau 10 — 10' — 10" permettent de se rendre compte de l'emplissage de la chaudière.

Les vapeurs produites dans la chaudière passent par un vase de sûreté G muni du thermomètre 11 et entrent dans le bas de la colonne B. Les vapeurs de la colonne se rendent au condenseur C : la partie condensée rétrograde par h dans le haut de la colonne ; la partie restée en vapeur va se condenser entièrement dans le condenseur D et coule à l'éprouvette F.

L'eau destinée à la condensation et à la réfrigération vient d'une bache H dans laquelle le trop plein o maintient un niveau constant. Elle descend par le tuyau K et entre dans le bas du réfrigérant. Un robinet 4 à la portée de l'ouvrier sert à régler l'admission de l'eau. Celle-ci sort par le trop plein M. La chaudière est munie d'un reniflard 8 et d'un trou d'homme 9.

Comme nous l'avons dit, cet appareil a été abandonné par Savalle, parce qu'il se produisait beaucoup d'entraînements de plateau en plateau d'où résultait une sérieuse exagération de la dépense de combustible. Mais il a été repris par d'autres constructeurs qui ont cherché à utiliser les avantages des plateaux perforés tout en en supprimant les inconvénients. Quelques-uns ont conservé les plateaux perforés dans le bas de la colonne et

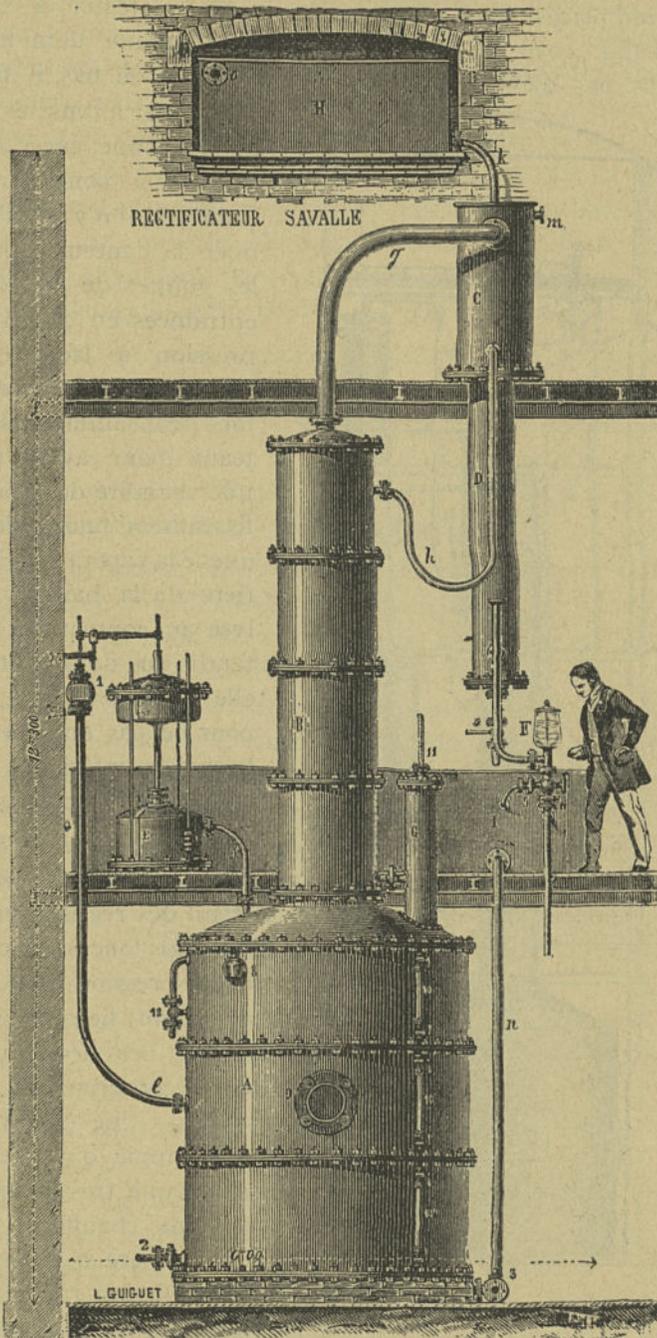


Fig. 337. — Rectificateur à colonne ronde et à plateaux perforés de Savalle.

les ont remplacés dans le haut par des plateaux à calottes multiples (fig. 293). Ce n'était évidemment qu'une demi-mesure. Il ne suffit pas d'éviter les entrainements dans le bas, il faut les

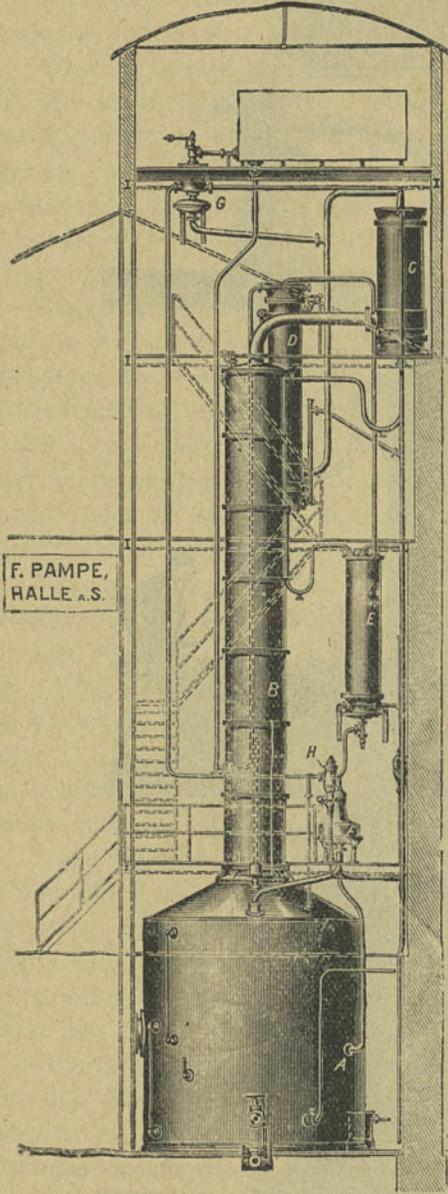


Fig. 338. — Rectificateur Pampe à basse pression.

qu'un écoulement facile et continu de l'eau de condensation.

A la partie supérieure de cette chaudière se trouve une grande

supprimer à tous les étages de la colonne, car à tous les étages ils sont nuisibles. Pour cela il n'y a qu'à diminuer la hauteur à laquelle les gouttes de liquide sont entraînées en diminuant la pression à laquelle fonctionne la colonne et en écartant suffisamment les plateaux pour avoir partout une chambre de vapeur suffisamment haute dans laquelle la vapeur, sur les deux tiers de la hauteur, s'analyse au contact du liquide, tandis que dans l'autre tiers elle se dépouille de liquide pour ne pas en déposer sur la surface inférieure du plateau placé au-dessus.

338. *Rectificateur Pampe à basse pression.* — Pampe construit des rectificateurs discontinus fonctionnant à très basse pression 0^m70 à 1^m00 d'eau au lieu de 1^m00 à 1^m80 . Ses nouveaux modèles comprennent :

A. — Une chaudière en tôle munie d'un serpentin ayant une très grande surface de chauffe et disposé de manière à assurer une transmission rapide du calorique en même temps

calotte renversée que les ouvriers appellent *le parapluie*. Les vésicules de liquide entraînées pendant l'ébullition viennent frapper contre cette calotte et se brisent, tandis que les reflux des plateaux en arrivant dans la chaudière, tombent dans la partie creuse de la calotte, et en débordent en subissant une déflegmation par surface.

La valve de vidange est rendue solidaire de la valve d'alimentation, en sorte que la première est forcément fermée pendant que l'autre est ouverte. Il est déjà arrivé que l'ouvrier, croyant charger la chaudière, envoyait tout simplement les flegmes à l'aqueduc : le dispositif a pour but d'empêcher un tel accident.

B. — Une colonne à plateaux perforés. Les 36 plateaux sont écartés de 200 m/m ; la perforation est particulièrement soignée, les trous sont très petits (2^{mm}5) et très rapprochés ; la hauteur des trop pleins s'abaisse à 20 m/m et même à 15 m/m dans les colonnes à très basse pression. Chaque plateau est absolument plan et fixé exactement perpendiculairement à la calandre.

C. — Un condenseur rationnel disposé exactement à l'envers des condenseurs ordinaires. La vapeur entre par le bas au lieu d'entrer par le haut et l'eau froide entre par le haut au lieu d'entrer par le bas. La disposition est donc la même que dans une colonne à distiller qui reçoit de la vapeur par le bas pendant que le vin froid entre dans le haut de la colonne. Il y a non seulement contre-courant entre la vapeur et le liquide condensé, mais encore entre la vapeur et l'eau alimentant le condenseur. Il en résulte que le condenseur, tout en fournissant à la colonne le liquide nécessaire pour la concentration, aide encore la colonne en travaillant comme un plateau à grande surface. C'est donc un déflegmateur comme le déflegmateur à bulles d'Ilges et de Collette, comme les bassins de Pistorius, etc.

Circulant en sens inverse du liquide, la vapeur a tout le temps de se dépouiller des vésicules de liquide qu'elle charrie, en sorte que les entraînements sont évités.

D. — *Un séparateur d'aldéhydes*. — La vapeur sortant du haut du condenseur C se rend par un tuyau trois fois recourbé dans un 2^e condenseur D analogue au premier, mais muni d'un reniflard pour éviter tout danger d'aplatissement. Sur le tuyau trois fois recourbé vient se greffer le tuyau allant au régulateur G. Le liquide condensé sortant de ce séparateur s'en va dans le réfrigérant E où se rend également la vapeur sortant du haut de D.

E. — Un réfrigérant à deux serpentins dont l'un reçoit par un

tuyau en siphon le liquide de D (siphon à gauche de E) et l'autre les vapeurs sortant de D.

F. — Un régulateur à membrane métallique ondulée réglant l'admission de la vapeur en A pour maintenir une pression constante dans la chaudière.

G. — Un régulateur à membrane réglant l'admission de l'eau en C et D pour y maintenir une pression constante.

H. — Une éprouvette fermée.

559. *Rectificateurs discontinus de la maison Crepelle-Fontaine.* — Nous avons dit que les plateaux perforés sont les plus puissants comme analyse, mais qu'ils présentent, quand les plateaux ne sont pas suffisamment écartés et la pression très régulière, l'inconvénient de

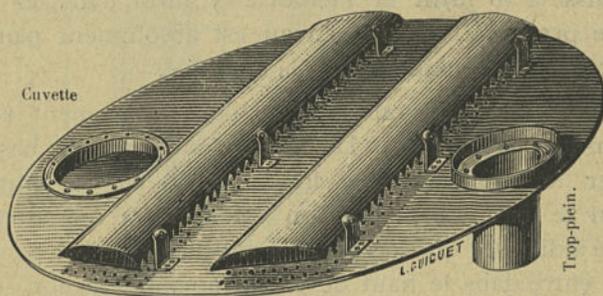


Fig. 339. — Plateau à calottes et écumettes (Crepelle-Fontaine).

donner lieu à des entraînements. Pour éviter cela, la maison Crepelle construit des plateaux présentant à la fois les avantages des plateaux perforés et ceux des plateaux à calottes ; ce sont les *plateaux à calottes et écumettes*. Les calottes sont longues et dentelées et recouvrent la partie perforée, en sorte qu'aucun entraînement ne peut se produire (fig. 339).

560. *Rectificateur rectangulaire à calottes longues de Savalle.* — Dans cet appareil (fig. 340) les organes de méthodicité sont les calottes longues (fig. 295) du même inventeur. Cette forme de calottes donne une grande solidité aux plateaux (les cheminées faisant fonction d'entretoises) ; par suite, la calotte une fois réglée ne se modifie pas et la vapeur continue à passer à travers le liquide sur toute la longueur de la calotte ; en outre, les barboteurs rectangulaires constituent une série de barrages obligeant les liquides à circuler d'une façon très régulière en bande étroite au

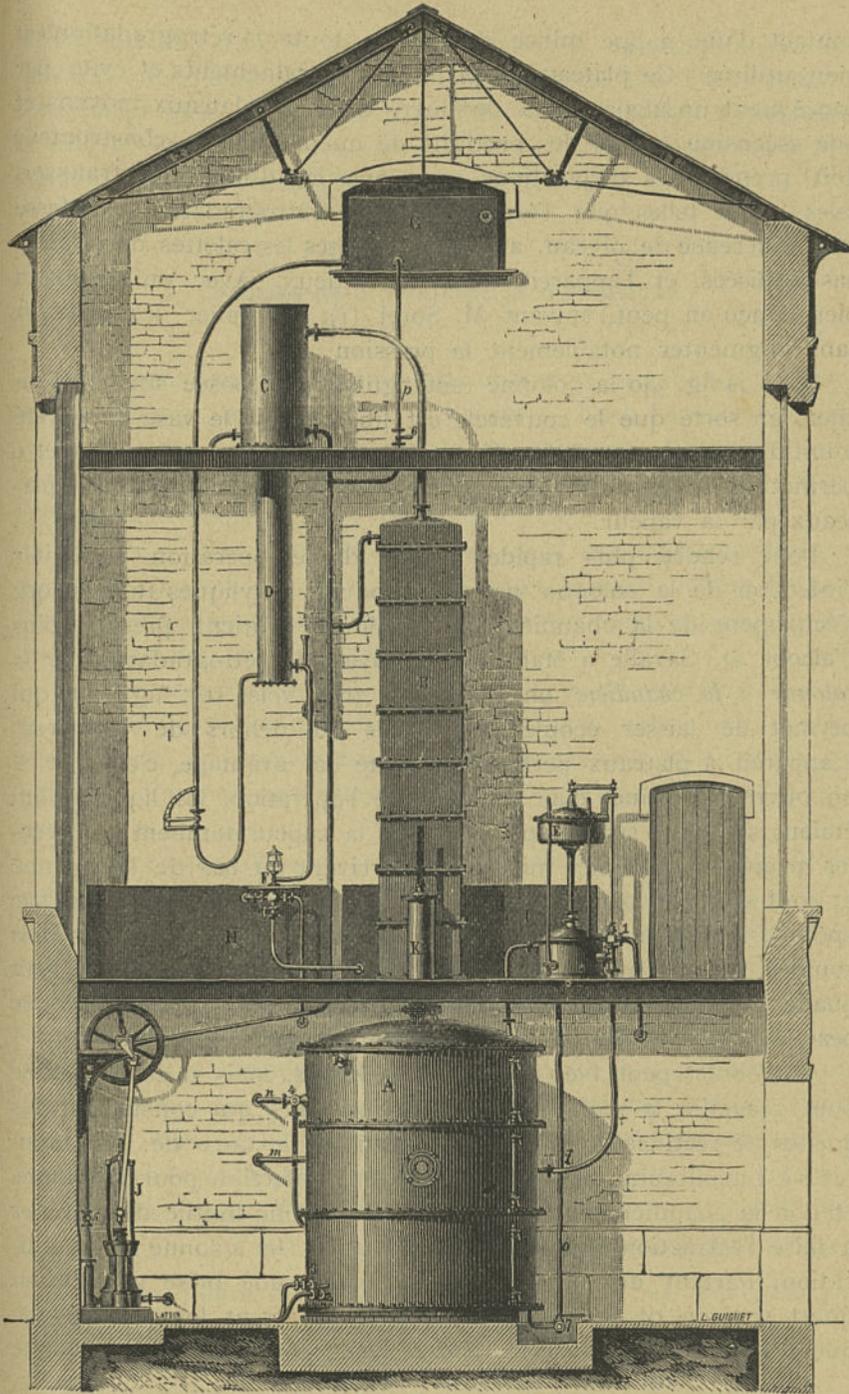


Fig. 340. — Rectificateur Savalle (Lepage et C^{ie}, Paris).

contact d'une nappe mince de vapeur, toute la rétrogradation est bien utilisée. Ce plateau supprime les entraînements et évite par conséquent un abaissement de degré dans les plateaux moyens et une ascension rapide des produits de queue. Mais le constructeur doit prendre ses dispositions pour que les dimensions transversales soient telles que l'écoulement des rétrogradations se fasse sans différence de niveau, autrement toutes les calottes ne seraient pas utilisées, et l'appareil serait défectueux. Avec un dispositif bien conçu on peut, suivant M. Sorel (1), multiplier les plateaux sans augmenter notablement la pression.

Dans la fig. 340 la colonne rectangulaire est posée sur le plancher, en sorte que le couvercle est libre. K est le vase de sûreté muni de son thermomètre. Un tuyau p muni des robinets 5 et 6 permet de laver tout l'appareil et d'épuiser le liquide des plateaux par la vapeur.

Pour rendre plus rapide la fin d'une opération et éviter l'infection de la colonne par les produits amyliques (huiles) qui s'échappent de la chaudière lorsqu'elle ne contient presque plus d'alcool, D. Savalle a établi sur le tuyau de rétrogradation *de la colonne à la chaudière* un robinet à trois voies (12, fig. 339) qui permet de laisser écouler les huiles au dehors de l'appareil. L'appareil à plateaux perforés présente cet avantage, c'est que si on ouvre le robinet d'air à la fin de l'opération, les liquides qui étaient soutenus sur les plateaux par la vapeur tombent à travers les trous; en quelques minutes ils arrivent au bas de la colonne et sont envoyés par le robinet 12 au dehors ou dans un bac spécial. Mais, comme une grande partie de la colonne est déjà souillée par les huiles avant que tout l'alcool soit éliminé, il faut quand même *dégraissier* la colonne à la vapeur, de sorte que beaucoup de distillateurs ont renoncé à l'usage de ce robinet.

Ce robinet peut bien recueillir les huiles, mais il est inefficace pour recueillir la majeure partie des produits qui constituent les queues de rectification. C'est le plateau où le taux de ces impuretés est maximum qui constitue le foyer d'infection pour la colonne et non la chaudière par elle-même. Il est donc inutile de chercher à faire l'extraction des queues au bas de la colonne de rectification. Partant de là, M. Sorel a établi une prise spéciale au quart environ de la colonne, où se concentrent les produits de queue à la fin de la période des bons goûts. En retirant une

(1) *La Rectification*, Encyclop. Léauté.

faible quantité d'alcool dans cette zone, on extrait une portion de corps de queue assez notable, le taux de ces corps dans la zone dangereuse ne peut plus monter, et l'on arrive à prolonger la période des bons goûts, par suite à augmenter le rendement de l'appareil sans augmentation de dépense.

Conduite de la rectification discontinue

561. Disons tout de suite que cette opération est généralement fort mal conduite. Dans la plupart des usines, c'est l'ouvrier distillateur qui combine les différents fonctionnements suivant ce qu'il déguste à l'éprouvette. Ce système est très mauvais, ce qu'on conçoit sans peine si on y réfléchit un peu.

D'abord on ne peut pas déguster dans une salle constamment pleine de vapeurs d'aldéhydes, d'éther et d'alcools divers; ensuite l'ouvrier distillateur peut être enrhumé, peu soigneux, ou même pris de boisson, toutes choses qui arrivent.

Chaque rectificateur doit être muni d'un manomètre indiquant la pression dans la chaudière, d'un thermomètre indiquant la température du condenseur et d'une éprouvette où il y ait des points de repère permettant de vérifier aussi exactement que possible le coulage.

On sait que, dans la rectification discontinue, la séparation des produits étant surtout difficile au commencement et à la fin de l'opération, on a l'habitude d'augmenter graduellement le coulage jusqu'à ce qu'on arrive au cœur de la rectification, et de la diminuer ensuite graduellement jusqu'à la fin. Avec certains flegmes, mais surtout avec ceux filtrés sur charbon de bois, on peut supprimer le ralentissement à la fin de la rectification, une grande partie des produits amyliques ayant été enlevés par le charbon; mais généralement ce ralentissement se pratique, et nous nous mettrons dans ce cas.

Prenons l'exemple suivant : On charge dans un appareil 188 l. de flegmes à 46,8 G L. soit $188 \times \frac{46,8}{100} = 87,98$ soit 88 l. d'alcool à 100°. On ajoute de l'eau jusqu'à 220 hectos, ce qui nous fait exactement un degré de 40 G L.

On commence à chauffer à 8 h. 1/2 du soir. A 10 h. 1/2 l'alcool mauvais goût arrive à l'éprouvette. On commence par régler le coulage à 1 hecto qu'on maintient pendant 1 h. 1/2

puis, comme l'indique le tableau suivant, on monte progressivement jusqu'à 5 hectos.

Tableau de Rectification.

Rectificateur n° 1. Nature du chargement : flegmes. Volume chargé 188 h. Degré apparent, 49,9. Température 23, Degré réel 46,8. Commencé le 25 à 8 h. 1/2 soir, terminé le 27 à 10 h. 3/4.

Durée totale 50 h. 1/4.

DÉSIGNATION des PRODUITS	TEMPÉRATURE		Coulage à l'origine	Coulage moyen	Degré du coulage	Coulage réel à 100°	Durée du coulage	Coulage total à 100°
	de la CHAUDIÈRE	du CONDEN- SEUR						
Mauvais goût. . .	88	64	1.00	1.00	90	0.90	1 1/2	1.35
Moyen goût. . . .	88	68	1.00	1.57	95.8	1.51	4 1/4	6.42
Extra-fin	88	69	1.65	2.05	95.8	1.96	9 1/2	18.65
Cœur.	89	70	2.07	2.94	95.6	2.81	8	22.48
Extra-fin	91	73	3.00	3.00	95.5	2.86	8	22.88
Extra-fin	97	73	3.00	2.17	95.4	2.03	4 1/2	29.13
Moyen goût	103	71	2.07	2.07	92.0	1.90	1 3/4	3.32
Mauvais goût. . .	103 1/2	76	2.07	2.07	70.0	1.07	3/4	0.80
								85.00
	Freinte apparente 3, 4 %			perte apparente.				3.00

Coulage que l'on maintient pendant la plus grande partie de la rectification, puis on descend à 2 h. et à 1 h. 1/2.

On voit que dans ce travail nous avons fait 4 lots d'alcool bon goût : 2 Extra-fins de tête et deux de queue. On prend ensuite échantillon de ces produits, on les déguste *loin des appareils* et on mélange au besoin les différents lots pour avoir l'alcool que l'on désire.

La marche de la rectification doit toujours être réglée d'après les heures et la dégustation à l'éprouvette ne doit être admise que pour le cas d'un accident. On connaît généralement la nature exacte du chargement et on sait les fractionnements qu'il faut lui faire subir ; on charge donc l'appareil d'une quantité exactement déterminée d'alcool et on indique à l'ouvrier les températures, les coulages et les changements de bacs qu'il devra observer. Les calculs indiqués par le tableau ci-dessus et les

situations journalières indiqueront si les prescriptions ont été suivies.

Enfin la dégustation pratiquée comme nous l'avons dit montrera les modifications qu'il y aura lieu d'apporter dans les nouvelles opérations.

La dégustation doit toujours être faite par rapport à des types d'alcool servant pour ainsi dire d'étalon. C'est seulement ainsi qu'on peut tirer de cette opération tout le résultat qu'elle peut donner.

La rectification doit se faire en milieu neutre ou très légèrement alcalin.

Les flegmes produits par les colonnes ont toujours une légère acidité: l'acidité des flegmes à haut degré varie généralement de 5 à 10 et 15 grammes par hectolitre; celle des flegmes à bas degré varie de 20 à 30 g. et même davantage.

On neutralise souvent les flegmes par le carbonate de potasse; le carbonate de soude produit le même résultat et a l'avantage d'être plus économique.

Quand on rectifie en milieu alcalin, l'acalinité ne doit pas être supérieure à 5 à 10 g. par hectol.

Tous ces chiffres sont exprimés en grammes d'acide sulfurique monohydraté par hectol., qu'il s'agisse d'acidité ou d'alcalinité.

Quand le coupage avant rectification se fait avec des eaux fortement calcaires, il est également nécessaire de neutraliser l'eau pour éviter un dépôt trop abondant de boues calcaires dans les chaudières. Dans ce cas on se sert d'acide chlorhydrique commercial à raison de 2 gr. d'acide par hectol. d'eau et par degré hydrotimétrique qu'elle accuse.

562. *Dépense de combustible pour la rectification.* — La dépense de combustible pour la rectification peut se diviser en 3 parties: 1° Celle qui est nécessaire pendant la période de chauffage du produit à rectifier; 2° celle qui a lieu pendant la période de coulage; 3° celle qui se produit pendant la période de l'épuisement de la colonne et de la chaudière.

La dépense de combustible pendant le chauffage peut se déterminer par le calcul ou expérimentalement. La dépense pendant le coulage ne peut se déterminer que par une expérience directe en mesurant exactement l'eau condensée dans le serpentin, ou mieux encore, en pesant cette eau dans des fûts tarés. Il en est de même pour la période d'épuisement.

Un bon rectificateur ne doit pas, en faisant de l'alcool ordinaire, dépenser plus de 130 k. de vapeur par hectol. d'alcool à 96°5 coulant à l'éprouvette pendant la période de bon goût, la pression dans la chaudière étant de 0^m 70 à 1^m d'eau.

En ajoutant 10 % pour tenir compte du chauffage et de la diminution du coulage au commencement et à la fin de l'opération, on arrive à une dépense de $130 \times 1,1 = 143$ k. de vapeur par hecto de coulage, toutes phrases comprises.

Admettons pour chaque opération 25 % de liquide à repasser, il faudra passer en tout un volume

$$v = 100 (1 + 0,25 + 0,25^2 + 0,25^3 + \text{etc...})$$

En faisant la sommation de la série par la formule

$$S = \frac{a}{1 - q} \quad a = q = 0,25 \quad \text{on a } S = \frac{0,25}{1 - 0,25} = 0,333$$

$$\text{d'ou } V = 100 (1 + 0,33) = 133.$$

La dépense de vapeur par hecto d'alcool achevé sera

$$143 \times 1,33 = 190 \text{ k. vapeur.}$$

Pour des alcools de haute marque, il faudra dépenser 150 k. de vapeur par hecto d'alcool à 96°5 coulant à l'éprouvette. En ajoutant dans ce cas 15 % pour les diminutions de coulage au commencement et à la fin, et admettant 35 % de liquide à repasser pour chaque opération, on a

$$v = 100 (1 + 0,35 + 0,35^2 + \text{etc...})$$

$$V = 172,5 \times 1,54 = 265 \text{ k. 60.}$$

Mais les rectificateurs qu'on rencontre dans les usines dépendent souvent notablement plus de vapeur. La consommation dépasse fréquemment 300 kilos. Dans ce cas, il y a lieu de rechercher les défauts de l'appareil, car cette dépense est certainement exagérée et inadmissible.

563. *Purgeur automatique ou retour allemand.* — Pour enlever des serpentins de chauffage l'eau de condensation sans aucune perte de vapeur, on se sert généralement d'un purgeur automatique ou *boite à chagrin*. Il se compose d'un vase cylindrique en fonte A muni d'un orifice latéral C et fermé par un couvercle en fonte avec orifice D et robinet d'air. A l'intérieur de ce vase l'orifice D se prolonge par un tube en bronze débouchant à 0 m. 05 environ du fond par un orifice D. Un vase intérieur en cuivre B peut monter ou descendre le long de ce tube sur lequel il est guidé par deux bagues portées chacune par trois

bras. Ce seau intérieur est convenablement lesté par une rondelle qu'il porte en dessous du tube.

L'orifice E est relié directement à l'extrémité de purge du serpentin de chauffe. L'orifice D est muni d'un tuyau destiné à l'évacuation de l'eau condensée. Le petit robinet sert à chasser l'air à la mise en train. L'eau condensée se déverse dans l'espace annulaire qui existe entre le vase A et le vase B et, soulevant ce dernier, en applique fortement le fond sur l'orifice D. Dans ces conditions, si l'eau de condensation est mélangée de vapeur, celle-ci remplit l'appareil, mais ne peut s'échapper au dehors puisque l'orifice D est obstrué. Mais l'eau de condensation continuant à arriver finit par déborder dans le seau mobile B, il arrive un moment où le poids de l'eau contenue dans ce vase, ajouté au poids du seau, suffit pour vaincre la poussée extérieure. A ce moment le vase B descend et débouche l'orifice D. La pression de la vapeur chasse alors au dehors l'eau contenue dans le vase B jusqu'au moment où la poussée extérieure viendra de nouveau le soulever en refermant l'orifice D, ce qui arrivera avant que ce vase B soit complètement vidé, c'est-à-dire avant que la vapeur puisse s'échapper. Il est donc bien certain que cet appareil ne pourra donner passage à la vapeur directe. L'eau de condensation sera évacuée par intermittence.

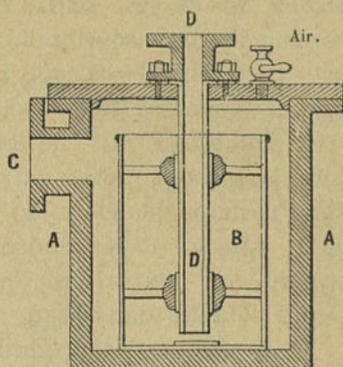


Fig. 341. — Purgeur automatique ou retour allemand.

Rectification continue des alcools

564. On a cherché depuis longtemps à remplacer la rectification discontinue des alcools par la rectification continue, comme on a remplacé la distillation discontinue par la distillation continue. On a surtout cherché au début à retirer directement du moût de l'alcool en une seule opération. Les tentatives les plus anciennes dans ce sens semblent être celles de Leplay en France et de Coffey en Irlande. Le problème consiste à distiller le vin dans une colonne à haut degré et à recueillir d'une façon continue :

1^o les produits de tête, c'est-à-dire les plus entraînaibles ; 2^o les produits de queue, c'est-à-dire ceux qui sont moins entraînaibles que l'alcool ; et 3^o l'alcool débarrassé de ses impuretés de tête et de queue.

Nous avons déjà dit comment les Allemands extraient les alcools insolubles dans l'eau. Les alcools supérieurs solubles comme l'alcool isopropylique (83^o) très soluble, l'alcool propylique (67^o) très soluble, l'alcool butylique secondaire (99^o), l'alcool isobutylique primaire (108^o) solub. 10 % ; l'alcool butylique normal (116^o) solubil. 9 %, ne peuvent être extraits tels quels ; mais comme ils sont moins entraînaibles que l'alcool, ils se concentrent dans certains plateaux où l'alcool est à un degré variable entre 65 et 75^o. Si, à cet endroit, on soutire un volume suffisant de liquide, on pourra enlever la majeure partie des alcools supérieurs solubles dans l'eau.

Pour enlever les produits de tête on peut refroidir suffisamment le condenseur pour ne laisser passer qu'un très petit volume de liquide et extraire l'alcool du 2^e ou 3^e plateau en dessous de la rétrogradation de la colonne rectificatrice. C'est ce que Coffey a fait depuis longtemps. L'alcool extrait de la colonne est l'alcool rectifié ; on le refroidit par passage dans un réfrigérant spécial. Le petit volume de liquide provenant de la condensation des vapeurs sorties de la colonne contient presque tous les produits de tête.

Ce procédé ne pouvait donner de l'alcool pur ; tout était encore à étudier à cette époque : les plateaux, les condenseurs, etc....

Pour faciliter le travail des rectificateurs ordinaires, on a cherché souvent à les débarrasser de la majeure partie de leurs produits de tête avant de les introduire dans la chaudière du rectificateur.

En 1857, Savalle a pris un brevet pour un procédé consistant à introduire dans une colonne à distiller ordinaire un courant continu d'alcool préalablement porté à sa température d'ébullition et à déterminer, à la partie inférieure de cette colonne, une légère ébullition. Les vapeurs qui se dégagent à la partie supérieure de cette colonne renferment une partie des impuretés volatiles.

En 1866, Savary fit breveter un séparateur continu de têtes, pouvant s'appliquer à n'importe quelle colonne à distiller et à n'importe quel rectificateur.

Dans ce système, le chauffe-vin ou condenseur est coupé en deux : le premier corps rétrograde dans la colonne rectificatrice. le second, qui ne fait que condenser l'alcool sans le refroidir, rétro-

grade dans le séparateur, composé d'une petite colonne à 5 plateaux dont le soubassement est chauffé par un petit serpentín. L'alcool épuré de ses produits de tête par cette *brosmolyse* passe dans un réfrigérant et de là à une éprouvette, tandis que les vapeurs se dégageant au haut de la colonne sont condensées dans un petit réfrigérant et coulent à une petite éprouvette.

Cet appareil est un véritable épurateur continu des têtes appliqué aux rectificateurs discontinus. L'épuration se fait à haut degré. Mais il manque des plateaux pour la concentration des produits de tête.

En septembre 1881, M. Druon fit breveter un appareil de distillation continue à deux colonnes permettant, par des dispositions spéciales, de séparer les huiles essentielles et les éthers pour obtenir des flegmes neutres et

à fort degré, lesquels étant soumis à la rectification, donnent des alcools parfaitement purs. Le vin entrant par le tuyau 10 dans le condenseur chauffe-vin E sort à la partie supérieure, descend par 11, passe dans un condenseur intermédiaire J placé entre les colonnes B et C et, par le tuyau 12, entre dans le haut de la colonne A qu'il parcourt de haut en bas pour sortir à l'état de vinasse par 13.

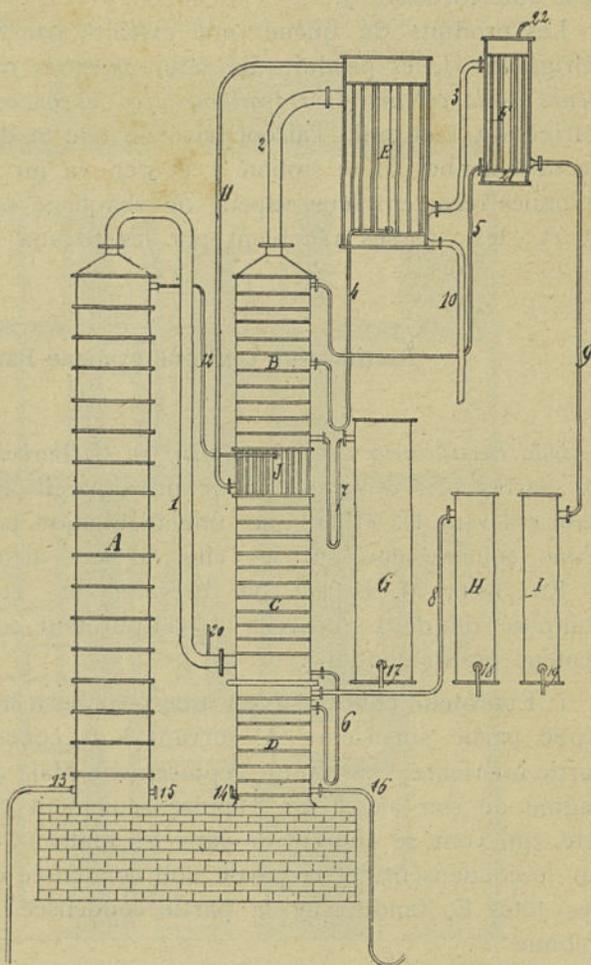


Fig. 342. — Appareil Druon.

La vapeur de cette colonne s'en va par le gros tuyau 1 chauffer la colonne D C B recevant comme liquide alcoolique tout en haut les reflux du condenseur F, plus bas les condensations du chauffe-vin E et plus bas encore les condensations du condenseur intermédiaire J.

Les produits de queue sont extraits par 8 et s'en vont au réfrigérant H, les produits de tête *concentrés par les plateaux supérieurs de la colonne B travaillant avec le condenseur E* coulent au réfrigérant I, et enfin l'alcool privé de tête et de queue est extrait de la colonne par le siphon 7 et s'en va au réfrigérant G. Les colonnes reçoivent leur vapeur de chauffage par les tubulures 14 et 15; les vinasses s'écoulent par les tuyaux 13 et 16.

Rectification continue système Barbet.

565. *Rectificateur continu primitif de M. Barbet.* — En février 1881, M. Barbet prit un brevet pour un appareil composé d'un épurateur enlevant les éthers par une distillation partielle des vins et d'une colonne épuisant les vins de leur alcool.

En 1886, M. Barbet fit breveter un rectificateur continu composé de deux appareils : 1° l'Épurateur continu; 2° le Rectificateur proprement dit.

1° Épurateur continu. C'est une colonne à haut degré composée d'une partie supérieure A' servant à la concentration et d'une partie inférieure A servant à l'épuisement. Mais au lieu d'épuiser le flegme de son alcool, on l'épuise seulement de ses produits de tête, qui vont se concentrer dans les plateaux supérieurs, passent par le condenseur, et la partie non condensée coule à l'éprouvette des têtes E, tandis que la partie condensée rétrograde dans la colonne A'.

Le flegme épuré sort à la partie inférieure comme si c'était de la vinasse et s'écoule dans la colonne d'épuisement G du Rectificateur continu.

2° Continu proprement dit. La colonne G est surmontée de la colonne de concentration G'. Le flegme introduit dans la colonne par Kn descend de plateau en plateau en s'épuisant de son alcool; la vinasse sort à la partie inférieure et traverse un récupérateur où elle réchauffe le flegme froid, qui se rend du bac T dans

l'épurateur A. Les vapeurs provenant de la colonne G se concentrent dans la colonne G' et coulent à l'éprouvette A.

L'extraction des produits de queue se fait dans la colonne G, vers le milieu de cette colonne. C'est à l'endroit où le liquide des plateaux marque 40° à l'alcoomètre que s'accumule l'alcool amylique, mais d'autres s'accumulent un peu plus haut dans les

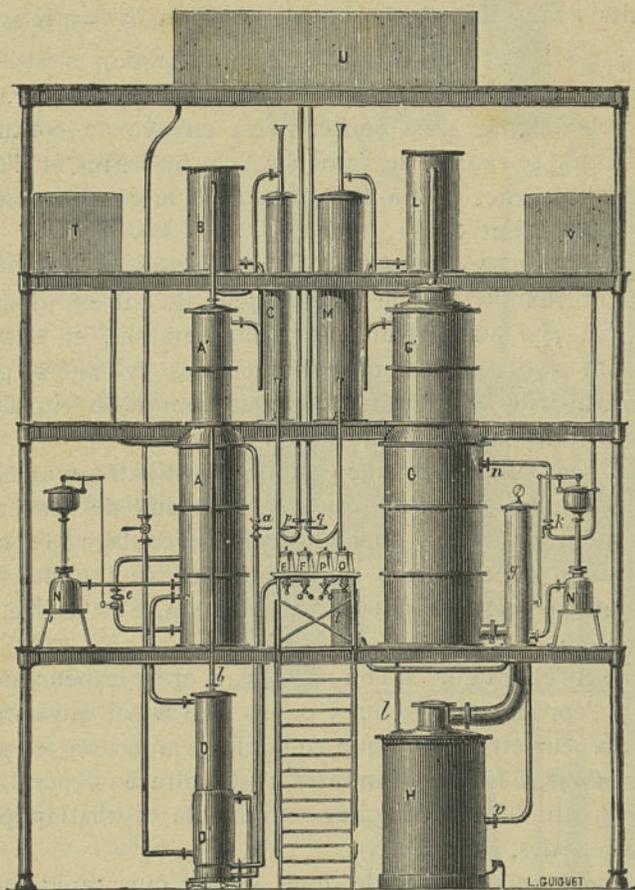


Fig. 343. — Rectificateur continu primitif de Barbet (construction L. Fontaine).

plateaux où l'alcoomètre marque 70. Pour pouvoir varier l'extraction avec la nature du produit à traiter, on monte deux tubes placés l'un au-dessus de l'autre et réunis en un seul tuyau, aboutissant à l'éprouvette des queues. Ces queues ne marquent qu'environ 50° à l'alcoomètre. Pour pouvoir les vendre on est obligé de les concentrer dans une petite colonne accessoire, où on les ramène à 90-91° G L.

366. *Rectificateur continu Barbet avec extraction de l'alcool par les plateaux (pasteurisation) et réglage invariable du coulage.*

En 1887, M. Barbet, alors directeur gérant de la distillerie de l'Hérault à Agde, a apporté deux perfectionnements à son rectificateur continu.

Nous avons vu que dans une opération préliminaire, on enlève les produits ayant un coefficient d'épuration $K' = K \times \frac{1}{C}$ plus grand que 1 (vapeur plus impure que le liquide), c'est-à-dire en général plus volatils que l'alcool, et dits *produits de tête*.

Une fois le flegme ainsi épuré, il est envoyé au continu proprement dit qui se charge de l'amener à 96-97 degrés et d'éliminer les produits de queue, c'est-à-dire ceux dont le coefficient d'épuration K' est plus petit que 1.

1° *Fonctionnement de l'épurateur.* — Les flegmes à 40-50° G. L., préalablement chauffés par le récupérateur R, entrent dans l'épurateur A (fig. 344) au plateau dit d'alimentation, et descendent en s'épuisant progressivement en aldéhydes et éthers par une distillation partielle et méthodique, tout comme le vin dans une colonne à distiller s'épuise en alcool.

En effet, en supposant une colonne distillatoire quelconque, munie d'un condenseur et de quelques plateaux de concentration convenablement aménagés, on peut régler le coulage à l'éprouvette pour avoir 6, 8, ou 10 p. 100 de liquide, et ce liquide (flegme) emporte toute la partie la plus volatile du vin, c'est-à-dire l'alcool et ses congénères.

De même à l'épurateur, si l'on règle l'eau et la vapeur de façon à récolter à l'éprouvette 2, 3 ou 5 p. 100 de l'alcool qui entre dans l'appareil, on peut être assuré que ce liquide emportera les produits ayant un coefficient K' supérieur à 1, c'est-à-dire en général ce qu'il y a de plus volatil dans les flegmes soumis à la distillation (produits de têtes : aldéhydes, éthers, etc.).

L'épuisement en produits de têtes se fait plus rapidement que dans le rectificateur discontinu qui n'est qu'un alambic surmonté d'une colonne rectificatrice, tout comme l'épuisement en alcool est plus rapide dans une colonne continue. Au commencement de l'opération ces épuisements se poursuivent rapidement dans les discontinus, mais ensuite ils se ralentissent et deviennent assez longs.

L'ancien alambic fournissait un grand volume de produits à bas-degrés qu'il fallait repasser, tandis que les flegmes des colonnes continues sont à degré constant élevé et d'une pureté relative.

De même le rectificateur discontinu donne un grand volume de produits bâtards, à basse teneur en produits de tête, qu'il faut repasser ; tandis que les *têtes* du continu sont à degré constant (93-94) et d'une grande concentration en éthers.

En un mot d'après M. Barbet, l'épuration supprime les *moyens goûts* de tête (1).

2^o Rectification continue proprement dite.

— Le problème précédent une fois résolu, la rectification est facile à réaliser, car le flegme ne contient plus désormais, comme partie la plus entraînable (la plus volatile), que l'alcool éthylique, qu'il s'agit d'obtenir à l'état de pureté.

Supposons un instant que nous fassions une rectification discontinue, et que l'opération ait déjà duré 12 à 15 heures. A ce moment, le flegme de la chaudière ne contient plus que très peu de produits de tête, et l'alcool de l'éprouvette est de l'alcool surfin.

(1) Sans vouloir contester les avantages que présente dans certains cas la rectification continue, disons tout de suite que pour la production des alcools fins, les partisans du continu ont été amenés dans ces dernières années à rétablir la production des moyens goûts qu'ils avaient d'abord complètement supprimés.

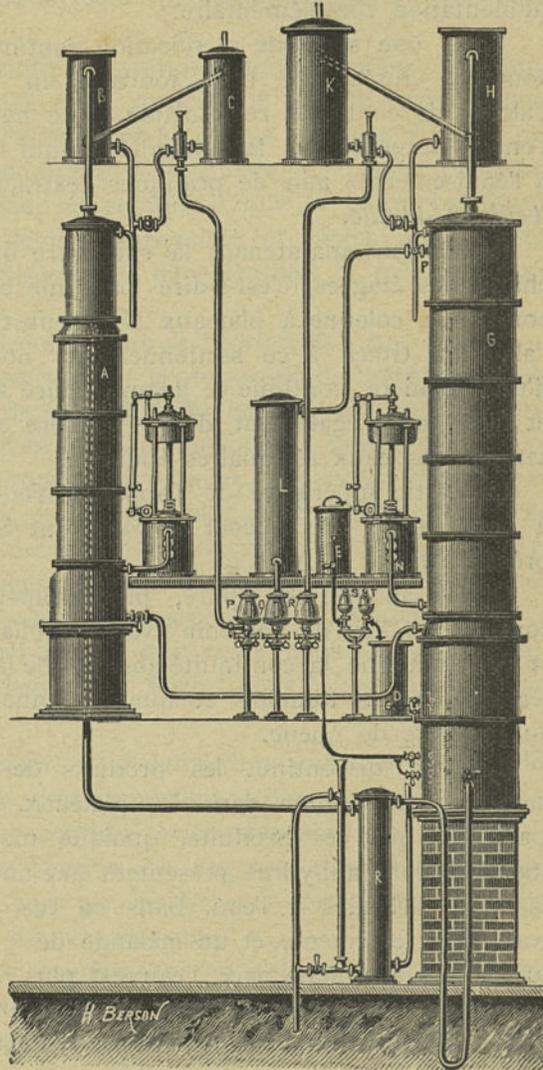


Fig. 344. — Rectificateur continu des Flegmes (Barbet).

Admettons que nous possédions un grand approvisionnement de flegme ainsi épuré dans la chaudière, et que ce flegme épuré serve à alimenter un deuxième appareil discontinu qui soit, lui aussi, dans la période de cœur, et dont la chaudière soit assez grande pour recevoir pendant plusieurs heures cette alimentation complémentaire.

Voilà une sorte de rectification continue réalisée, et pendant toute sa durée, elle nous fournira un alcool équivalent à de l'alcool de cœur de rectification. Elle ne prendra fin que par l'encombrement de la chaudière qui nous obligera à faire « l'épuisement » afin de pratiquer l'extraction de tout l'excédent d'eau et d'huile.

Remplaçons maintenant la chaudière unique par une série de chaudières étagées, c'est-à-dire par une colonne à plateaux, tout comme la colonne à plateaux a été substituée à la chaudière de l'alambic. Grâce à ce sectionnement, nous pourrions introduire d'une manière continue le flegme épuré sur le plateau du haut, et faire sortir également d'une manière continue, par le soubassement, les eaux résiduaires épuisées.

La partie supérieure de l'appareil n'en continuera pas moins à nous former de l'alcool de cœur tout comme dans l'hypothèse précédente.

Quant au flegme épuré, produisons-le avec un épurateur continu, au lieu de l'obtenir avec une chaudière de rectification, et l'on voit que la continuité absolue de la rectification se trouve réalisée. Voyons toutefois ce que deviennent les huiles amyliques ou produits de queue.

Dans un discontinu, les produits de queue tendent perpétuellement à monter dans les plateaux. M. Duclaux a montré (page 785) que ces produits, quoique moins volatils que l'eau, quand ils sont anhydres, présentent une anomalie singulière quand ils sont mélangés à l'eau. Dans ce cas, en effet, ils distillent avant l'eau elle-même, et un mélange de 5 % d'alcool butylique, ou d'alcool amylique avec l'eau est plus vite épuisé à l'alambic que ne le serait un vin à 5 % d'alcool éthylique.

Donc l'obligation où nous sommes d'épuiser complètement les eaux résiduaires en alcool éthylique nous conduit nécessairement à produire en même temps l'épuisement total en produits de queue. Par conséquent la sortie du bas de l'appareil ne donne issue qu'à de l'eau complètement privée d'alcool et de *produits de queue*.

On voit donc ce qui va se produire : l'alimentation continue du flegme apporte sans cesse de nouvelles proportions de fusel (huiles amyliques) et comme il n'en sort point avec les vinasses, il va se former une accumulation de ces impuretés, et la qualité de l'alcool s'en ressentira.

L'accumulation s'opère en effet sur certains plateaux inférieurs d'épuisement.

Pour y remédier, il suffit de pratiquer une extraction continue sur l'un de ces plateaux (1), et de recueillir le liquide impur à une éprouvette spéciale. Si l'on soutire ainsi une quantité d'huile qui correspond au volume d'impuretés de queue qu'apporte l'alimentation continue du flegme, on comprend que la sortie balançant l'entrée, l'accumulation devient impossible, et l'appareil fonctionne exactement comme les discontinus dans lesquels la proportion de fusel est limitée.

C'est le goût de l'alcool obtenu à l'éprouvette qui montre si l'extraction d'huiles est suffisante ; la proportion de cette extraction dépend essentiellement de la qualité du flegme, et l'on voit sans peine que l'on a un moyen facile d'améliorer la qualité de l'alcool en extrayant de fortes proportions d'huiles. Il en est de même pour l'épuration en aldéhydes et éthers ; plus on pratique une large extraction de produits de tête à l'épurateur, plus l'alcool est fin. Dans la plupart des usines on règle l'extraction des aldéhydes et éthers à environ 5 p. 100 et l'extraction des huiles amyliques à 2 ou 3 p. 100 de l'alcool à 100° qui entre dans l'appareil. Dans ces conditions l'on a, d'après M. Barbet, environ 91 à 92 p. 100 de bon goût.

3° *Réglage de l'appareil.* — L'extraction continue des huiles remplit un second rôle très important : c'est elle qui règle la conduite du rectificateur continu *comme alimentation en flegmes*.

Il faut, en effet, que l'entrée des flegmes apporte exactement autant d'alcool qu'il en sort par les diverses éprouvettes, afin que l'appareil conserve une allure invariable.

Si l'alimentation est insuffisante, on s'en aperçoit au degré alcoolique des huiles qui s'affaiblit. S'il augmente, au contraire, on a la preuve que l'alimentation est exagérée, et si l'on n'y prenait

(1) L'alcool amylique s'accumule par exemple sur le plateau où l'alcool accuse 40° G L, et c'est là que M. Barbet fait l'extraction d'huile ; mais d'autres produits s'accumulent en un autre endroit, l'acétate d'isoamyle (courbe N M) par exemple vers 70° : il faut encore là faire une extraction pour empêcher une accumulation.

garde, on pourrait avoir des pertes d'alcool faute d'un épuisement complet des vinasses.

L'ouvrier trouve facilement l'ouverture du robinet d'alimentation qui convient pour avoir un degré alcoolique constant à l'éprouvette des huiles, c'est-à-dire pour donner à l'appareil un régime permanent invariable. C'est une surveillance identique à celle des colonnes distillatoires continues.

Les huiles sont refroidies en D et coulent à l'éprouvette T.

Les vapeurs alcooliques s'enrichissent et se purifient dans les tronçons de rectification G, grâce à la rétrogradation du condenseur H. L'excès de vapeur passe au réfrigérant K, puis à l'éprouvette R.

N N' sont les régulateurs de vapeur (fig. 344).

Enfin, une autre éprouvette S, alimentée par les vapeurs qui se dégagent des vinasses contenues dans le soubassement et qui viennent se condenser dans le petit réfrigérant E donne, d'une façon certaine, l'épreuve de l'épuisement, l'alcomètre devant toujours y marquer 0°.

Les eaux résiduelles bouillantes sortant de l'appareil passent au récupérateur R où elles échauffent le flegme qui va alimenter l'épurateur (1).

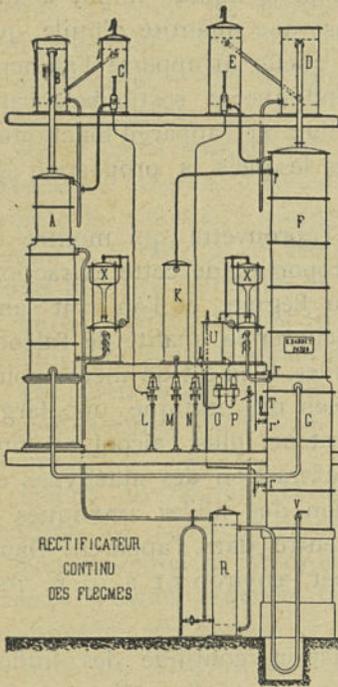


Fig. 345. — Rectificateur continu Barbet

4° *Extraction de l'alcool des plateaux ou « pasteurisation »*. — Au lieu d'envoyer au réfrigérant et à l'éprouvette à bon goût, la vapeur sortant du condenseur, c'est le liquide extrait du haut de la colonne de concentration du continu, en P, que M. Barbet y envoie. Le liquide dit *pasteurisé*, après s'être refroidi dans le vase L, vient couler à l'éprouvette Q.

À l'éprouvette R on recueille 4 à 5 % d'un liquide qui contient les produits de tête qui avaient résisté à l'épurateur ; c'est une sorte de moyen goût que l'on fait rentrer immédiatement dans le flegme à épurer.

(1) La figure représente le même appareil. Les lettres seules sont changées.

5° Régulateur différentiel pour le réglage invariable de coulage. — A l'éprouvette T il doit être possible de faire une extraction de produits de tête aussi réduite que l'on peut désirer. M. Barbet a résolu ce problème par un régulateur différentiel représenté, en combinaison avec la pasteurisation, par la fig. 346.

Le condenseur est partagé en 2 parties. La 2^e partie, le condenseur réfrigérant F, est placé sur le même plancher et à la même hauteur que le condenseur E. Le produit de tête refroidi sort par la tubulure L, qui est munie d'une trompette d'air R ; de là il descend à l'éprouvette T, mais on interpose à l'entrée de celle-ci un robinet de réglage N, tout comme il y a un robinet de réglage M, à l'éprouvette P de l'alcool pasteurisé. Enfin sur le tuyau de descente de l'alcool on branche un clapet de retenue R qui est relié à la rétrogradation du condenseur E.

En fermant totalement le robinet N pendant que l'appareil est en marche, l'alcool de tête montera dans le tuyau K N, soulèvera le clapet R et se mêlera à la rétrogradation pour rentrer en B dans le rectificateur A.

En ouvrant légèrement le robinet N et en plein le robinet H et réglant le robinet M. de façon à donner les 95 % du débit normal, l'appareil produira régulièrement 5 % de produits de tête.

On peut de même tirer $\frac{1}{3}$ à l'éprouvette T et $\frac{2}{3}$ à l'éprouvette P, ou quantités égales, ou telle autre proportion que l'on voudra sans variation appréciable du débit d'eau, ni de la pression du régulateur.

Ce système donne à l'appareil une allure régulière malgré les petites variations de niveau dans le bac à eau. En effet, si l'entrée d'eau vient à diminuer légèrement, le condenseur E donnera un peu moins de rétrogradation ; mais comme le réfrigérant F est trop fort (dans tous les

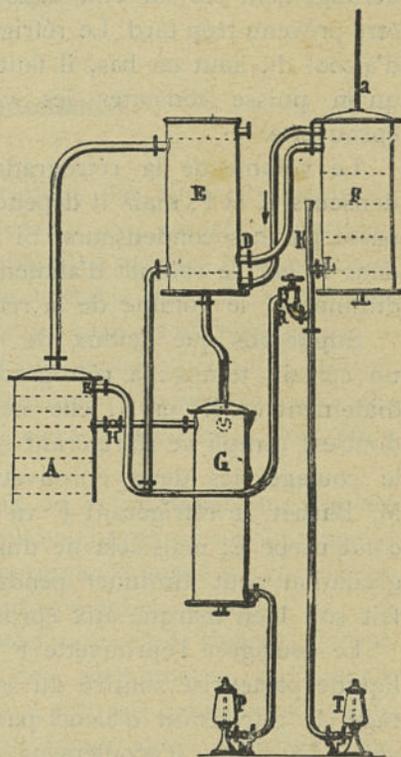


Fig 346. — Réglage invariable du coulage (E. Barbet).

appareils, il est trop fort, afin que le refroidissement soit assuré dans tous les cas), comme toute la vapeur alcoolique est condensée, et comme le débit de l'éprouvette T ne peut varier à cause du robinet N, il faudra bien que l'excédent d'alcool rentre dans l'appareil, complétant ainsi l'insuffisance de rétrogradation de E.

Nous ne sommes pas bien persuadés que cette régularité des coulages aux éprouvettes P et I soit bien une preuve de la régularité de la *qualité* des alcools qui coulent à ces éprouvettes.

Les deux coulages de pasteurisé et de non pasteurisé étant *muselés*, comme dit M. Barbet, on n'a plus que les degrés aux éprouvettes pour contrôler la marche de l'appareil.

Or ces variations de degrés ne se produisent pas aussitôt qu'un dérangement est survenu dans la marche de l'appareil et on peut être prévenu trop tard. Le réfrigérant d'alcool pasteurisé étant plein d'alcool du haut en bas, il faut un certain temps assez long pour qu'on puisse constater les variations de degrés à la grande éprouvette.

Le volume de la rétrogradation dépend des surfaces des condenseurs E et F, mais il dépend surtout du volume d'eau froide qui passe par ces condenseurs. Si le niveau de l'eau vient à baisser dans le bac, le robinet d'alimentation étant réglé, l'afflux de l'eau diminue et le volume de la rétrogradation diminue également.

Supposons que l'afflux de l'eau cesse complètement pendant un certain temps : la rétrogradation va s'annuler presque immédiatement en E ; en F, elle ne s'annulera que quand l'eau froide dont est rempli ce réfrigérant sera devenue chaude. En attendant le coulage des deux éprouvettes ne variera pas. Comme le dit M. Barbet, le réfrigérant F va d'abord compléter l'insuffisance du condenseur E, mais cela ne durera que peu de temps et la rétrogradation peut diminuer pendant un certain temps sans que ce fait soit bien marqué aux éprouvettes.

Le coulage à l'éprouvette P est forcément très régulier, car le liquide pasteurisé soutiré du 3^e plateau remplit le tuyau de soutirage, le réfrigérant d'alcool pasteurisé et le tuyau allant à l'éprouvette. La vitesse d'écoulement par le robinet M est donnée par la formule $v = \mu \sqrt{2gh}$, et comme la hauteur h depuis l'éprouvette jusqu'au plateau de soutirage est très grande et que cette hauteur ne varie pas, il est facile de voir que l'écoulement sera forcément très régulier.

Rectification continue simplifiée. — Le système d'extraction (pasteurisation) de M. Barbet permet l'enlèvement des aldéhydes

et des éthers sans l'emploi d'un épurateur ; c'est ce qu'il appelle sa rectification continue simplifiée et dont on peut se faire une idée en considérant uniquement la partie droite de la figure 344.

L'extraction des têtes se fait par l'éprouvette R ; l'extraction de l'alcool pur ou pasteurisé, par le robinet P, le réfrigérant L et l'éprouvette Q. E S est l'éprouvette d'épuisement ; en T celle des huiles. L'alimentation, au lieu de passer par l'épurateur qui est supprimé, ainsi que ses accessoires, vient directement à la colonne G en sortant du récupérateur.

L'alcool ainsi extrait renfermait toujours des produits odorants très solubles, ce système ne convient que pour la production des alcools naturels : cognacs, rhums, etc...; pour les alcools industriels il faut faire la rectification complète.

Rôle du Condenseur

367. Avant de continuer la description des appareils continus, nous devons étudier le rôle du condenseur, qui est très important.

Au début de la construction des appareils à rectifier, on considérait généralement le condenseur comme un véritable *analyseur*, c'est-à-dire comme un organe capable de partager les vapeurs alcooliques qui y entrent, en un liquide plus pauvre et une vapeur plus riche, *suivant une certaine loi*. Ce fut un ingénieur allemand, d'une famille originairement française, François Pampe, qui éleva le premier la voix pour protester contre cette idée.

Pampe avait remarqué que quand on refroidissait une vapeur alcoolique, il se produisait un enrichissement qui ne suivait aucune loi, et qu'un refroidissement trop énergique donnait un enrichissement moins important qu'un refroidissement modéré.

Grand admirateur de la théorie mécanique de la chaleur, Pampe chercha dans celle-ci l'explication des phénomènes qu'il avait observés. Se disant que la vapeur qui se trouvait dans le condenseur devait être une vapeur saturée, il fut frappé de la définition que donnait Clausius de l'état de saturation.

D'après Clausius, il se produit toujours, même par de très basses températures, un passage des molécules de l'état liquide à l'état de vapeur et inversement ; et l'état de saturation existe quand le nombre des molécules qui montent du liquide est égal à celui des molécules qui y retournent.

Considérons une certaine quantité de vapeur qui passe d'un rectificateur dans un condenseur, où elle prend une plus basse température ; il se produit une condensation partielle, et au début la richesse en alcool du liquide est à peu près la même que celle de la vapeur. Mais le liquide qui se trouve sur la surface de condensation et aux endroits collecteurs, commence ensuite à s'évaporer de nouveau, et la vapeur qui se produit est très riche.

Admettons que dans le premier moment le degré alcoolique de la vapeur qui se rend du rectificateur dans le condenseur (un déflegmateur s'il mérite ce nom) soit 80, et qu'il se condense un liquide ayant également 80 ; la vapeur qui se dégagera du liquide condensé aura une richesse en alcool de 90,6, d'après Grœning (86,5, d'après E. Sorel). La température de la vapeur ne s'abaisse pas brusquement, car la chaleur mise en liberté par la condensation d'une partie des vapeurs, compense celle qui est absorbée ; elle commence seulement à s'abaisser quand, par suite de plusieurs condensations et réévaporations, le degré alcoolique de la vapeur a augmenté.

Un refroidissement très brusque diminuant d'un coup de 2, 3° la température des vapeurs se rendant du rectificateur au condenseur, en abaissant au-dessous de la pression barométrique la tension des vapeurs dans le condenseur, empêcherait le passage des vapeurs du condenseur dans le réfrigérant, et déterminerait l'arrêt de l'appareil.

Si le condenseur est construit de telle sorte qu'il y ait une circulation à contre-courant parfaite entre la vapeur et l'eau, ainsi qu'entre la vapeur et le liquide condensé qui descend en gouttelettes sur la surface de condensation, et si on ne refroidit que très modérément dans le condenseur, il se produira un échange très actif entre les molécules d'alcool et les molécules d'eau, et on aura une notable augmentation de degré. On peut dans ce cas partager par la pensée le condenseur, comme le rectificateur, en un certain nombre d'éléments dont chacun possède un état spécial de saturation, lequel n'est jamais complet, parce que les vapeurs et le liquide ne restent que trop peu de temps en présence.

Le liquide condensé, en descendant le long de la surface de condensation, perd en degré, et la richesse des vapeurs augmente dans leur trajet ascensionnel. L'enrichissement est égal à la somme des renforcements produits par chaque élément.

L'appareil fonctionnant de la sorte n'est pas un simple condenseur. c'est un déflegmateur ou du moins un condenseur-déflegmateur.

Il résulte de ce que nous venons de dire précédemment, qu'il est inexact d'admettre que le refroidissement produise directement un enrichissement des vapeurs et qu'on puisse régler le degré du liquide distillé en réglant la température du condenseur. Il n'y a, au contraire, enrichissement que quand après condensation d'une partie des vapeurs, il se produit plusieurs réévaporations successives par le contact du liquide avec la vapeur, plusieurs échanges entre les molécules d'alcool du liquide et les molécules d'eau de la vapeur.

Si l'on fait passer trop d'eau froide dans le condenseur, au point de refroidir par trop la surface, il se produit une abondante condensation, mais la réévaporation est insuffisante, il ne se produit qu'un faible échange de molécules, et, par suite, l'augmentation de degré est trop faible. De tout ce qui précède, on peut conclure qu'un déflegmateur doit remplir les conditions suivantes :

1° Les vapeurs doivent parcourir lentement le déflegmateur ;

2° Le refroidissement doit être bien progressif, c'est-à-dire que *la différence de température entre la surface de condensation et la vapeur alcoolique ne doit pas être trop forte* (1).

3° La vapeur alcoolique et l'eau réfrigérante doivent circuler aussi parfaitement que possible en sens contraire ;

4° Le liquide condensé, en ruisselant le long de la surface de condensation, doit circuler d'une partie plus froide à une partie plus chaude, par conséquent le liquide alcoolique et la vapeur ascendante doivent se mouvoir en deux courants exactement opposés.

Dans ce qui précède nous avons étudié l'enrichissement produit par le condenseur-déflegmateur ; cet organe a, en outre, une autre fonction, celle d'alimenter le rectificateur d'un liquide riche en alcool qui maintienne constantes les différences de degré de plateau en plateau. Plus sont élevées la richesse alcoolique et la quantité du liquide rétrograde, plus grand sera le degré du liquide coulant à l'éprouvette parce que la richesse du liquide qui se trouve sur les différents plateaux et, par suite, celle des vapeurs, est plus élevée. Mais le haut degré de la rétrogradation ne doit jamais être obtenu aux dépens de l'enrichissement dans le condenseur ; la différence de degré entre la vapeur qui passe du condenseur dans le réfrigérant et la rétrogradation

(1) De même qu'il est mauvais de refroidir par trop le haut d'une colonne à rectifier en y introduisant une eau de réfrigération trop froide, ou en laissant la colonne exposée à un fort rayonnement.

doit être aussi grande que possible. Le condenseur déflegmateur et le rectificateur proprement dit forment un tout organisé et l'enrichissement (ou l'épuration) dans les deux organes repose exactement sur les mêmes principes.

Telle est la théorie de F. Pampe. On voit que cet ingénieur ne se contentait pas de dire que le condenseur n'est pas un analyseur, il indiquait en outre d'une façon très précise comment on peut en faire un déflegmateur, c'est-à-dire un organe participant au travail de la colonne.

En 1883, M. Ilges, chargé par Maercker d'écrire, pour cet auteur, le chapitre relatif à la distillation, destiné à figurer dans la 3^e édition de son ouvrage, annonça que le condenseur ne produisait aucune augmentation de degré.

En 1884, Dónitz, ingénieur de la maison Heckmann, de Berlin, publia dans la « *Zeitschrift für Spiritus industrie*, » sa *théorie de la rectification et de la flegmentation*, qui fut reproduite plus tard dans la 4^e édition de l'ouvrage de Maercker (édition traduite en français par Bosker et Warnery). Il disait notamment : « Une déflegmation est une opération consistant à enrichir les vapeurs alcooliques en en séparant, par refroidissement, un liquide plus faible en degré (1). La déflegmation n'est en somme que l'inverse de

(1) **M. P. Guichard**

Les avis étaient partagés sur le rôle joué par le condenseur. Pour *Maercker* le condenseur était un analyseur. Il partageait les vapeurs en deux parties : l'une plus riche, l'autre moins riche, qui retournait à la colonne. Cette théorie est certainement inexacte ; elle n'est pas admise en France par les plus autorisés des auteurs. En Allemagne, elle a trouvé aussi des contradicteurs.

M. le Docteur Gauthier

Relativement au rôle que joue le condenseur dans les appareils de rectification, les avis sont partagés. Ainsi, pour *Maercker*, le condenseur était un analyseur qui partage les vapeurs en deux parties, l'une plus riche, l'autre moins riche, qui retourne à la colonne. Cette théorie, évidemment inexacte, n'est pas admise en France et elle a aussi trouvé en Allemagne de nombreux contradicteurs.

Nous mettons en regard ces deux passages, pour faire voir ce qui peut résulter de la *manie* qu'ont certains auteurs de copier sur leurs devanciers, au lieu de remonter aux sources

M. le docteur Gauthier, traduisant un livre allemand, ne s'occupe pas des textes allemands, et copie dans un livre français une *erreur* qu'on rencontre dans tous les livres français depuis la publication de la traduction de Maercker.

Dans la traduction française de la 4^e édition de l'ouvrage de Maercker (par MM. Bosker et Warnery), au chapitre X, se trouve une note de bas de page débutant par cette phrase : Maercker ne doit pas cacher ici que Pampe ne partage pas son opinion sur ce point. Il y a une confusion de la part des traducteurs ; il faut lire : L'auteur ne doit (ne peut) pas cacher, etc... Et c'est de l'auteur du chapitre relatif à la distillation,

la vaporisation. Si, par exemple, on soumet à un refroidissement lent et régulier une solution alcoolique à l'état de vapeur à 88°7 C. de température, et renfermant 70 p. 100 d'alcool en volume, sous une pression atmosphérique constante, on doit obtenir un liquide de 18,7 d'alcool en volume, ce qui est la richesse du liquide pouvant donner des vapeurs contenant 70 p. 100 d'alcool. On pourrait cependant objecter à cela que ces vapeurs, à 70 p. 100 d'alcool en volume, n'étant pas en présence d'un liquide bouillant renfermant 18,7 p. 100 d'alcool en volume, pourraient parfaitement ne pas être à l'état de saturation, mais surchauffées, ce qui leur permettrait de pouvoir être refroidies sans qu'il se produise une condensation. Par le fait, on ne pourrait pas prouver que les vapeurs qui se dégagent d'un liquide alcoolique en ébullition soient par elles-mêmes à l'état de saturation, mais ce que l'on peut avancer avec certitude, c'est que dans tous les cas, les vapeurs entraînent toujours avec elles une quantité plus ou moins grande de gouttelettes de liquide qui, dans l'exemple dont nous nous occupons, renferment 18,7 p. 100 d'alcool en volume. Nous pourrions alors considérer la déflegmation comme une aspiration, par le liquide, de certains éléments des vapeurs, aspiration qui rétablit l'état de saturation détruit par l'abaissement de température. Cette explication permet de se rendre compte de l'action des déflegmateurs dans lesquels le liquide rétrogradant et les vapeurs formées suivent le même chemin et restent, par suite, pour ainsi dire, constamment en contact.

« Une autre hypothèse que l'on peut examiner est celle où le

c'est-à-dire *Dœnitz* qu'il s'agit, et non pas de *Maercker*. *Maercker* est un chimiste-agronome distingué qui ne s'est occupé de distillerie que parce qu'elle était, dans son pays, une industrie essentiellement agricole ; et c'est pour cela qu'il ne voudrait pas traiter lui-même une question aussi difficile et aussi spéciale que celle de la théorie de distillation. Il ne peut donc pas interrompre son collaborateur spécialement compétent (ou devant l'être) pour dire que *Pampe* ne partage pas son opinion à lui *Maercker*. C'est cette confusion qui fait que la théorie de *Dœnitz* est toujours, en France, attribuée à *Maercker*.

Dans sa théorie de la distillation, *Dœnitz* avait fait un emprunt à la théorie de *Pampe*. Il avait démontré qu'il fallait toujours établir contre-courant entre la vapeur et le liquide, ce que *Pampe* avait dit bien avant lui. En outre, d'après *Dœnitz*, *le temps ne faisait rien à l'affaire*. Enfin, il n'était pas question du contre-courant entre la vapeur et l'eau réfrigérante ; ce contre-courant était inutile, d'après *Dœnitz*, puisque la vapeur alcoolique se dédoublait suivant les tables de *Grœning*.

Ayant été, dans une polémique, accusé à propos de cette confusion d'avoir falsifié la vérité, j'ai cru devoir mettre les points sur les i (G. D.).

liquide condensé serait éliminé à mesure qu'il se condense. Dans ce cas, comme dans celui de la distillation simple, le liquide formé pendant la séparation sera seul en présence des vapeurs ; cette séparation se fera donc suivant les règles de Grøening. »

L'article de Dœnitz fut l'objet d'une réponse de Pampe, dans le numéro du 30 avril 1884, de la *Zeitschrift fur Spiritusindustrie*.

« M. Ilges, disait Pampe, est jusqu'ici le seul qui ait contesté l'enrichissement alcoolique par déflegmation ; Dœnitz, au contraire étend l'emploi des tables de Grøening à la déflegmation, et émet cette opinion que ce phénomène est l'inverse de la vaporisation : il accepte tout simplement les anciennes idées sur la déflegmation.

» Pour un technicien connaissant les lois de la physique, il n'y a que deux hypothèses possibles pour expliquer l'enrichissement par déflegmation :

» 1^o Le refroidissement produit directement la déflegmation : la vapeur alcoolique se dédouble en un liquide plus pauvre et une vapeur plus riche comme dans les décompositions chimiques ; dans ce cas, ce phénomène doit se produire suivant certains chiffres ou une certaine loi, *comme l'avait admis Grøening*.

» Mais l'expérience a démontré que cette hypothèse n'est pas fondée, et c'est pour ce motif qu'Ilges, se basant sur de nombreuses observations pratiques, a nié complètement l'enrichissement par déflegmation.

» Ces deux manières de voir, entièrement opposées, sont fausses ; *la vérité est entre les deux*, et c'est ce qui nous conduit à la deuxième hypothèse, qui est confirmée par la pratique.

» 2^o Suivant la construction et le fonctionnement des condenseurs, on obtient un enrichissement plus ou moins important ; le refroidissement n'est pas la cause directe de l'enrichissement alcoolique, ce n'est que le *moyen* pour arriver au *but*. La déflegmation n'est pas l'inverse de la rectification, mais c'est exactement le même phénomène. Dans la déflegmation, aussi bien que dans la rectification, il faut, pour avoir un enrichissement, qu'il se produise une réévaporation.

» En 1888, M. Ilges écrivit de nouveau le chapitre de la distillation pour la 5^e édition du traité de Maercker, tel que nous le trouvons dans les éditions suivantes. Dans cet écrit, Ilges reconnaît son erreur et se range à l'opinion de Pampe. « Il faut convenir, dit-il, que les hypothèses de Pampe sont tout à fait satisfaisantes. L'explication la plus probable de l'action du condenseur-déflegmateur est donc que le refroidissement des vapeurs

occasionne une réévaporation souvent répétée, qui produit l'augmentation de richesse alcoolique. »

En 1889, M. Barbet publia ses expériences sur un condenseur du type Savalle, et formula les conclusions suivantes, que nous présentons sous la nouvelle forme que l'auteur leur a donnée.

Le condenseur ne fait pas l'analyse des vapeurs alcooliques qu'il reçoit ; la partie liquéfiée conserve une composition presque identique à celle des vapeurs non condensées qui se rendent au réfrigérant, surtout lorsqu'on opère sur des vapeurs alcooliques à haut degré. Un condenseur ne peut avoir d'effet utile, qu'autant que sa rétrogradation soit analysée dans une série de plateaux ne recevant aucun autre liquide que cette rétrogradation.

Dans sa *Rectification de l'alcool* (1), M. E. Sorel conteste également le nom d'analyseur donné au condenseur : « Dans une colonne à fort degré, dit-il, on peut, à la rigueur, donner au condenseur le nom d'analyseur, si on extrait successivement les produits condensés, qui sont de plus en plus riches en alcool, pour les renvoyer à des régions convenables de la colonne ; mais si on réunit en bloc tous les produits condensés, l'analyse réalisée est très faible.

» Dans une colonne à rectifier, le condenseur *ordinaire* mérite encore moins ce nom d'analyseur. En effet, il n'a pas à aider la colonne directement comme enrichisseur en alcool, puisque l'alcool est déjà dans les plateaux de la colonne au voisinage du maximum de concentration : dès lors, les parties condensées et les parties restant en vapeur ont une concentration presque identique.

» Le condenseur *ordinaire* des appareils à rectifier n'est pas davantage un analyseur, si on se place au point de vue de l'*élimination des impuretés* qui y arrivent avec la vapeur d'alcool, au moins en ce qui concerne les *produits de tête*.

» En effet, comme nous l'avons dit, l'alcool condensé a une concentration identique à celle des vapeurs qui échappent au refroidissement ; d'autre part, puisqu'il s'est condensé, il est à une température un peu plus basse que dans la colonne : par suite, la solubilité des impuretés y est plus grande : le condenseur ne peut donc que ramener à la colonne une quantité de ces impuretés d'autant plus considérable que son action est plus énergique, c'est-à-dire que l'eau qui y entre est plus froide et sa surface utile plus grande. »

(1) Encyclopédie Léauté.

M. Sorel recherche ensuite les améliorations que l'on pourrait apporter au condenseur *ordinaire*. « En modifiant la construction de cet organe, dit-il, on peut le forcer à coopérer à l'œuvre d'épuration au lieu de la contrarier au début, tout en lui conservant intégralement son rôle nécessaire (celui d'alimenter la colonne d'alcool concentré). Il suffit pour cela de procéder à des condensations progressives à température constante, en *isolant au fur et à mesure les produits liquéfiés*. On n'obtient pas ainsi du premier coup une purification absolue, mais une série de précipités de moins en moins riches en corps sous forme peu soluble, de plus en plus riches en corps les plus solubles au début. »

On a vu plus haut que l'idée d'isoler au fur et à mesure les produits liquéfiés était celle de Dœnitz. M. Sorel calcule quels seraient les résultats fournis par 10 condenseurs successifs, et il arrive à cette conclusion :

« Les corps de tête échappent plus vite à l'appareil, les corps de queues sont retenus plus longtemps dans la colonne. On améliore donc la qualité des moyens goûts de tête et de queue, et on augmente la proportion du cœur de la rectification. »

M. Barbet fait ressortir la grande complication de cette combinaison au regard des résultats qu'elle fournit, et il arrive à une tout autre conclusion. « Puisqu'il est avéré, dit-il, que le condenseur est un piètre outil pour l'analyse des vapeurs, la logique veut qu'on n'exige pas de lui plus qu'il ne peut donner. Laissons-lui, pour seule et unique fonction, celle qu'il remplit si bien, c'est-à-dire celle de nous fournir automatiquement et en abondance un bon liquide laveur, une *clairce*, comme nous l'avons appelée bien des fois, afin de raffiner, par un clairçage abondant, rationnel et méthodique, opéré dans la colonne à plateau, les vapeurs alcooliques qui se dégagent des flegmes.

» En un mot, l'alcool doit être déjà tout à fait pur lorsqu'il entre au condenseur, afin que la rétrogradation soit elle-même tout à fait pure ; car si la *clairce* n'est pas irréprochable, la vapeur alcoolique lavée par elle ne le sera pas non plus. »

Mais si M. Barbet rejette le rôle de déflegmateur du condenseur qu'il compare au sabre de M. Prudhomme, et si M. Sorel prétend lui faire remplir ce rôle en le partageant en plusieurs autres, il n'en est pas de même de Pampe et de Hausbrandt. Déjà, dans son mémoire paru en 1879, Pampe avait indiqué les conditions qu'un condenseur devait remplir pour être un véritable déflegmateur, et il avait posé, en principe, que ce condenseur devait

être à contre-courant, non-seulement entre l'eau et la vapeur alcoolique, mais encore entre la vapeur alcoolique et le liquide produit par la condensation sur les tubes ou les serpentins.

Un tel condenseur était difficile à réaliser ; Pampe chercha longtemps avant d'arriver à une solution satisfaisante ; mais aussitôt cette solution trouvée, on fut forcé de reconnaître que la théorie sur laquelle reposait le déflegmateur à contre-courant était absolument exacte. Beaucoup d'autres constructeurs cherchèrent également à construire des déflegmateurs à contre-courants pour les adapter à leurs rectificateurs.

En 1883, Hausbrandt, ingénieur de la maison Heckman, de Berlin, publia un ouvrage sur le « Fonctionnement des appareils à rectifier et à distiller, *Die Wirkungsweise der Rectificir und distillirapparate,* » dans lequel il confirmait en grande partie les idées de Doenitz et recommandait également les condenseurs à contre-courant. Quand la vapeur alcoolique et le liquide condensé circulent en sens opposé, dit Hausbrandt, le liquide condensé se trouve à chaque instant séparé de la vapeur qui l'a engendré. Comme chaque rectification a pour but de séparer les corps bouillant à basse température de ceux qui bouillent à des températures plus élevées, les meilleurs condenseurs sont ceux qui aident la colonne dans ce travail de séparation, c'est-à-dire ceux dans lesquels la vapeur et le liquide circulent en sens contraire ; dans ceux-ci seulement se produit une séparation graduelle des petites quantités de liquide condensé. D'après Hausbrandt, ce n'est pas le temps que l'on accorde à la condensation qui influe le plus sur la déflegmation, mais tout simplement le nombre des condensations successives *avec séparation du produit condensé immédiatement après la condensation.*

MM. Sorel et Hausbrandt paraissent donc absolument d'accord sur les conditions à réunir pour faire du condenseur un déflegmateur, mais au fond il n'en est rien, car Hausbrandt démontre qu'il faut toujours renvoyer dans l'étage supérieur de la colonne tout le liquide condensé, tandis que, d'après M. Sorel, il faut séparer les produits condensés extraits et les renvoyer dans des régions convenables de la colonne.

En outre, M. Sorel trouve bonne la disposition du condenseur Savalle. « On fait ordinairement, dit-il, pénétrer dans le bas de l'eau chaude provenant du réfrigérant et arriver les vapeurs par le haut, de façon que les vapeurs rencontrent un liquide de moins en moins chaud, et se condensent plus aisément. De plus,

le liquide condensé, coulant dans le même sens que les vapeurs, tend à se mettre en équilibre avec elles, et, par suite, est plus riche que s'il s'écoulait en sens contraire ; on arrive donc au début de l'opération à charger plus rapidement les plateaux d'alcool fort. » Tout cela est en contradiction formelle avec les principes posés ou admis par M. Sorel, et d'après lesquels « il faut isoler au fur et à mesure les produits liquéfiés. » N'est-ce pas une singulière manière de les isoler, que de les faire circuler côte à côte avec la vapeur, afin de les mettre en équilibre avec elle, puis de les séparer quand ils ont séjourné dans la partie la plus froide du condenseur « où la solubilité des impuretés est plus grande par suite de la plus basse température ? » Il va sans dire aussi que quand la vapeur et le liquide condensé circulent dans le même sens, il est inévitable que la vapeur n'entraîne des gouttelettes de liquide dans le réfrigérant, ce qui n'est certes pas avantageux.

L'emploi des condenseurs multiples renvoyant les condensations successives aux divers endroits de la colonne est fort ancien, et se rencontre encore dans quelques vieux appareils, notamment dans ceux munis d'un condenseur à serpentín horizontal à plusieurs rétrogradations (1). Mais ces condenseurs ont été partout abandonnés, et dans tous les rectificateurs de construction récente, la rétrogradation arrive sur le premier plateau. Nous pensons que sur ce dernier point Hausbrandt a raison. Mais il se trompe quand il croit qu'il suffit de séparer immédiatement le liquide condensé de sa vapeur pour arriver à une déflegmation sérieuse ; ce procédé ne réussit que pour les faibles degrés. Il ne suffit pas de faire circuler la vapeur alcoolique en sens inverse du liquide condensé pour faire du condenseur un déflegmateur ; cette disposition, basée sur la théorie de Dœnitz et de Hausbrandt, ne peut donner qu'un résultat fort médiocre, comme le prouve l'expérience suivante faite par M. Barbet sur un épurateur où l'on avait voulu se passer de plateaux de concentration des éthers. On avait cherché à y suppléer, au moyen d'un condenseur méthodique à tubes concentriques d'un modèle spécial et très ingénieux.

« Le condenseur était composé de deux séries de tubes concentriques ; les tubes intérieurs avaient 4 mètres de longueur, et les tubes extérieurs environ 40 centimètres de moins. Le but était de laminer la vapeur chargée d'aldéhyde et d'éther entre les deux tubes et de faire circuler de l'eau à l'intérieur du petit tube et à l'extérieur du gros tube. Toutes les molécules de vapeur étaient

(1) Voir l'appareil de Cellier Blumenthal.

ainsi forcées de lécher les parois refroidies, sans qu'aucune pût y échapper.

» Qu'on veuille bien se rappeler que, dans notre épurateur continu, le but est de ne laisser passer jusqu'à l'éprouvette qu'un produit très riche en éthers et de rétrograder dans les plateaux le plus possible d'alcool éthylique. Supposons qu'on fasse circuler dans le condenseur une énorme quantité d'eau chaude à 60° centigrades ; comme l'aldéhyde bout à 22°, elle ne pourra pas se condenser, tandis qu'au contraire l'alcool éthylique sera forcé de subir une condensation totale, si le flot d'eau est suffisant pour que la température ne s'élève pas sensiblement. Pour être sûr d'arriver au résultat, une pompe rotative puissante fut installée pour refouler l'eau chaude dans le condenseur ; un thermomètre à cadran indiquait la température de l'eau ; l'eau sortant du condenseur revenait dans le bac d'aspiration de la pompe, et l'on réglait une petite arrivée d'eau froide dans ce bac, de façon à maintenir toujours au thermomètre la température choisie. Pour la mise en route de l'appareil, un barboteur de vapeur servait à échauffer l'eau au point voulu.

» Ajoutons enfin que la vapeur arrivait au bas de l'espace intertubulaire et cheminait en montant ; l'observation a son importance, car il se forme sur les deux parois des tubes des condensations qui ruissellent vers le bas et qui vont à l'encontre du sens des vapeurs. Donc, d'après la théorie de Dœnitz, au bas du tube la condensation sera à bas degré, un peu plus haut elle sera plus riche, et tout à fait riche en haut, ce qui permettra à la vapeur un enrichissement méthodique et sans aucun contact avec les premières condensations pauvres. Chaque tube ayant 4 mètres de hauteur devait former ainsi une petite colonne de rectification *idéale*. Telle était la conviction à ce sujet qu'il n'avait pas été réservé de plateaux de rectification à la colonne ; la rétrogradation rentrait au premier plateau du haut, et sur le même plateau s'opérait l'alimentation en alcool brut à épurer, tant on comptait sur le condenseur pour ne donner que des éthers à haut degré.

» Eh bien ! malgré tout ce concours de précautions minutieuses, lorsqu'on alimentait l'appareil avec de l'alcool à 45° Gay-Lussac, on n'avait que 85 à 86° à l'éprouvette, alors que sans aucune analyse, d'après la table de Grœning, on doit obtenir 88°8. De sorte que non seulement on ne condensait pas l'alcool, mais on ne pouvait même pas opposer une barrière à l'eau qui

bout à 100° ; et pourtant on maintenait l'eau de condensation à 50° centigrades seulement. »

La tentative de perfectionner le condenseur était évidemment bonne, malgré l'erreur que l'on commettait en voulant, par là, supprimer les plateaux de concentration des éthers ; de ce que ce perfectionnement ne permettait pas la suppression des plateaux, il ne s'ensuivait nullement qu'il n'y eût rien à faire pour le condenseur. L'idée de supprimer les plateaux était mauvaise, et le condenseur précédemment décrit ne remplit pas les conditions voulues pour être un véritable déflegmateur.

Au lieu de chercher à modifier le condenseur pour supprimer ses inconvénients, M. Barbet chercha à les éviter par son procédé de pasteurisation.

Puisque le condenseur n'est pas un analyseur et que le liquide condensé renferme autant de produits de tête que les vapeurs se rendant à l'éprouvette, la rétrogradation ramène constamment à la colonne des produits volatils qui devraient aller à l'éprouvette et qui sont ainsi soumis à un mouvement de *navette* du condenseur aux plateaux et réciproquement, l'élimination des produits de tête, de beaucoup les plus difficiles à enlever, doit être fort longue. Il faut encore ajouter à cela que le liquide condensé est souvent assez fortement refroidi dans le condenseur, et que par suite, il redissout une partie des aldéhydes et des éthers, ce qui augmente encore l'effet nuisible du condenseur. En somme, comme le dit M. Barbet, la rétrogradation, indispensable pour les produits de queue, vient contrarier les produits de tête.

Pour réaliser la rectification continue des alcools, M. Barbet se servit d'abord de deux appareils, d'un épurateur continu épuisant les flegmes de leurs produits de tête, exactement comme une colonne épuise un vin de son alcool, et d'un rectificateur continu proprement dit, travaillant comme une colonne à haut degré : composé, par conséquent, d'une colonne d'épuisement surmontée d'une colonne rectificatrice alimentée d'alcool fort pour le condenseur.

Comme c'est surtout pour les produits de tête que l'inconvénient du condenseur se fait sentir, on comprend que l'influence pernicieuse de cet organe devait être très grande pour l'épurateur des têtes et que, par suite, l'œuvre de cet épurateur devait être forcément incomplète. Cette influence devait encore se faire sentir dans la colonne rectificatrice.

Pour éviter cette influence et compléter dans le rectificateur

continu l'expulsion des têtes, M. Barbet applique à sa colonne rectificatrice continue la pasteurisation, qu'il considère comme un complément indispensable.

La pasteurisation de M. Barbet consiste, comme on sait, à recueillir comme alcool marchand non pas le liquide qui provient de la condensation des vapeurs sorties du condenseur, mais le liquide en ébullition sur le deuxième et le troisième plateau en dessous de la rétrogradation. « Puisque l'ébullition, dit M. Barbet, expulse les produits les plus volatils, le liquide qui reste sur les plateaux, au bout de quelques instants, n'est plus que de l'alcool beaucoup plus pur que la rétrogradation, c'est-à-dire bien plus pur que l'alcool de l'éprouvette. D'autre part, si les plateaux d'un rectificateur sont chargés d'alcool bouillant, et qu'on fasse traverser par barbotage dans ce liquide une vapeur éthérique ou aldéhydique plus volatile, cette vapeur ne peut se condenser dans l'alcool bouillant, car elle ne pourrait le faire qu'en évaporant à sa place un corps moins volatil qu'elle ; donc les éthers et les aldéhydes traversent l'alcool bouillant sans s'y arrêter, et comme si les plateaux n'existaient pas. Donc, si le liquide des plateaux supérieurs est épuré à fond, il restera pur malgré les quelques impuretés de tête des vapeurs ascendantes, et nous pourrons, en le soutirant, nous procurer un alcool particulièrement doux au goût et très pur aux réactifs chimiques. »

D'après M. Barbet, ce procédé permet de supprimer l'épurateur des têtes ; on a alors ce qu'il appelle « la rectification continue simplifiée. » « Cette simplification, dit-il, tout en donnant des alcools très purs à l'analyse, a des applications limitées, parce que les produits conservent toujours une partie de l'odeur d'origine. Il ne faut donc l'employer seule que lorsque la matière première alcoolisable a une odeur originelle, agréable elle-même. »

Les cas où la matière première alcoolisable a une odeur originelle agréable sont rares dans les distilleries industrielles (betteraves, mélasses, etc...,) en sorte que la rectification continue simplifiée ne doit trouver que de rares applications dans les usines fabriquant les alcools proprement dits, pour lesquels on réclame l'absence de toute odeur. Quand il s'agit de matières premières n'ayant pas une odeur agréable, il faut faire la rectification complète avec l'épurateur continu et le rectificateur continu muni de la pasteurisation.

Mais en se reportant aux premières données du problème à résoudre, on se demande : Pourquoi ne pas modifier le conden-

seur de l'épurateur de têtes, puis celui du continu, puisque ce sont eux qui compliquent inutilement le travail ? Il est bien clair, en effet, que la suppression de l'inconvénient des condenseurs rendrait la pasteurisation inutile pour tous les alcools ne provenant pas d'une matière première à odeur agréable.

Les condenseurs multiples proposés par M. Sorel n'ont reçu aucune application dans les rectificateurs récemment construits ; celui de Hausbrandt a été appliqué aux rectificateurs Heckmann, mais il n'est guère supérieur au condenseur ordinaire de Savalle. Le condenseur-déflegmateur de Pampe, basé sur le principe du double contre-courant, est le seul ayant exactement la même disposition que les colonnes à rectifier. Dans cet appareil, la vapeur alcoolique entre au bas du condenseur dans un renflement annulaire, se répartit également sur tous les tubes, grâce à un distributeur spécial, et sort par le haut. L'eau entre par le haut et est distribuée par un appareil à ruissellement qui la force à couler en nappe mince à l'intérieur des tubes. La condensation se produit en plus grande abondance à la partie supérieure des tubes ; le liquide condensé, rencontrant des zones de plus en plus chaudes à mesure qu'il descend en ruisselant le long des tubes, est constamment maintenu à une température très voisine de celle de l'ébullition, et la rétrogradation que reçoit la colonne est constamment purgée de produits de tête par un échange très actif avec les molécules d'alcool des vapeurs, tandis que la vapeur qui s'en dégage est entraînée par les vapeurs non condensées vers l'éprouvette. « Le grand défaut des rectificateurs discontinus, dit M. Barbet, réside en ce fait, que le condenseur fournit une rétrogradation presque identique comme composition chimique à la partie non condensée qui va à l'éprouvette en passant par le réfrigérant. Il y a donc à chaque instant, en tête des plateaux de rectification, un reflux de 6 à 10 p. 100 d'éthers (et quelquefois davantage), pour un seul qui réussit à passer à l'éprouvette. » Il est évident, après ce que nous venons de dire, que le condenseur Pampe supprime en grande partie cet inconvénient.

Ce qui se passe dans le condenseur à contre-courants est-il bien comparable à ce qui se passe dans le haut d'une colonne à rectifier ? M. Barbet prétend que dans les plateaux successifs du haut de la colonne, il se produit la « pasteurisation » par une réébullition absolument effective et violente, et que ces plateaux sont autant d'alambics isolés et méthodiques où le liquide s'analyse d'après la loi de fractionnement des liquides complexes.

Nous devons dire qu'il n'y a pas plus d'ébullition dans les plateaux de la colonne que dans l'intérieur du condenseur. M. Barbet en a convenu lui-même en annonçant d'abord qu'il n'y avait qu'un moyen d'expliquer l'ébullition dans les colonnes : celui d'admettre la surchauffe de la vapeur émise par un liquide alcoolique bouillant. En effet, dans son premier ouvrage : « Les appareils de distillation et de rectification (1890), » M. Barbet écrit :

« La vapeur qui se dégage d'un liquide alcoolique en ébullition est toujours une vapeur surchauffée et non une vapeur saturée.

» La vapeur qui se dégage d'un vin à 85, se trouve surchauffée de 93° B. — 82° B. = 11° I. Cette surchauffe normale n'est pas contestable ; s'il fallait en donner une preuve expérimentale directe, nous dirions ceci :

» Considérons une colonne à distiller qui reçoit du vin à 8,5 pour 100 d'alcool ; l'épuisement se faisant d'une façon graduelle jusqu'au bas, il y a peu de différence de degré d'un plateau à l'autre ; parfois même, deux plateaux qui se suivent ont exactement le même degré ; pour simplifier le raisonnement, admettons ce cas pour les deux plateaux du haut. C'est la vapeur qui se dégage de l'avant-dernier plateau qui est la seule source de chaleur qui amène à l'ébullition le dernier plateau ; or, ce plateau qui reçoit d'une façon continue l'alimentation du vin à 85, ne peut *bouillir* qu'à 93° 6. Donc, il faut bien que la vapeur qui se dégage du plateau inférieur (dont le liquide est presque aussi riche), ait bien également 93° 6, sans cela elle ne pourrait élever le vin à une température qu'elle ne possède pas elle-même.

» L'évaporation, ajoute M. Barbet, présente une anomalie, car elle ne produit qu'une vapeur surchauffée ; la condensation, au contraire, se produit comme si la vapeur aqueuse était un corps bien fixe et bien déterminé. De là vient que nous n'avons pas d'analyse à la condensation, tandis que nous avons analyse à l'évaporation : les produits condensés ont, à peu près, la même teneur alcoolique que la vapeur qui les engendre. »

Nous savons que M. Barbet a ensuite abandonné cette théorie, mais il a du même coup laissé inexplicées l'ébullition dans les colonnes et la non déflegmation par condensation (1).

(1) Si nous sommes forcé de soumettre ici à la critique les idées de M. Barbet, nous nous empressons de déclarer que nous ne voulons en aucune façon chercher à diminuer les mérites de cet intelligent ingénieur et infatigable travailleur, qui a eu le

Au fait l'ébullition dans les plateaux supérieurs des colonnes est inexplicable, car elle n'existe pas.

M. Barbet admet qu'un liquide à 8,5 p. 100 d'alcool entrant à la partie supérieure d'une colonne à distiller, doit avoir une température de 93,6 parce qu'il bout, et il s'étonne que la vapeur à 53,4 p. 100 d'alcool qui se dégage du liquide ait également une température de 93,6. En réalité, les vapeurs engendrées par le vin à 8,5 p. 100 d'alcool n'ont jamais une richesse alcoolique de 53,4, même dans les meilleurs appareils. Cette richesse est toujours un peu inférieure à ce chiffre ; par conséquent la température du liquide est aussi inférieure à 93,6, et la température réelle dans la chambre de vapeur dépend principalement des proportions relatives d'eau et d'alcool qui s'y rencontrent.

Les vapeurs qui se dégagent de la chaudière d'un appareil à rectifier ont une richesse alcoolique qui correspond à la table de Groening, mais à partir de là, les choses changent. En traversant les premiers compartiments de la colonne rectificatrice, ces vapeurs ne subissent nullement une condensation totale comme le prétend Hausbrandt dans ses dernières publications, et comme semble l'admettre M. Barbet. Il ne se produit qu'une condensation partielle, c'est-à-dire un échange de molécules ; de nouvelles molécules d'alcool entrent constamment dans le mélange de vapeurs où ils prennent la place de molécules d'eau.

Cet échange se produit exclusivement à la surface de contact entre le liquide et la vapeur, et plus cette surface est grande, plus est grande aussi l'action de chaque compartiment de la colonne. Le liquide lui-même peut dans ce cas avoir une température inférieure à celle qui correspond à son ébullition, pourvu que la teneur en alcool des vapeurs correspondant à la composition du liquide soit telle que la température d'ébullition de ce mélange de vapeurs soit la même ou plus petite que la température du liquide qui environne ces vapeurs.

La plupart des auteurs semblent considérer le mouvement du liquide occasionné par le passage des vapeurs comme une ébullition dans le sens usuel du mot, et ils en concluent que la température du liquide doit être celle qui correspond à son ébullition. C'est inexact ; il n'y a qu'une condensation partielle

grand mérite de vulgariser les notions exactes sur la distillation et la rectification des alcools, et d'introduire dans la pratique la rectification continue. Les nombreuses installations faites par M. Barbet prouvent aussi que ses appareils donnent, dans la pratique, de bons résultats.

des vapeurs et ce processus se répète jusqu'à la partie supérieure de la colonne à rectifier. L'enrichissement alcoolique dans la colonne à rectifier et dans le condenseur déflegmateur est dû exactement aux mêmes causes : les évaporations et les condensations répétées, c'est-à-dire les échanges des molécules entre la chambre de vapeur et le liquide dans lequel la tension plus élevée de l'alcool est un facteur qui entre en jeu. Mais dira-t-on, il ne peut pas y avoir réévaporation à la surface des tubes d'un condenseur, parce que la température sur cette surface est inférieure à la température d'ébullition.

Comme le dit M. Barbet, la couche de liquide à la surface des tubes est extrêmement mince et elle est en contact *direct* avec un tel excès de vapeurs alcooliques, que sa température ne doit guère être inférieure à celle-ci. Nous sommes donc dans le voisinage de l'ébullition tout comme dans les plateaux pasteurisateurs de M. Barbet, et il n'y a aucune raison pour que les mêmes échanges de molécules ne s'y produisent pas. La disposition est la même dans le condenseur Pampe que dans une colonne ; les contre courants du condenseur sont ceux qui existent dans toutes les colonnes possibles et imaginables : vapeurs alcooliques circulant de bas en haut, et non pas de haut en bas comme dans le condenseur ordinaire : liquide alcoolique circulant de la zone la plus froide vers la zone la plus chaude et non pas d'une zone à une autre zone à la même température, ou même à une température plus basse. Les rectificateurs les plus rudimentaires, même le simple tube à billes, remplissent cette condition, pour une raison bien simple, c'est que c'est une condition *sine quâ non* de fonctionnement.

Le condenseur à tubes concentriques de M. Barbet, dans lequel l'eau était chaude partout, ne remplit pas les conditions voulues pour être un véritable déflegmateur ; un simple coup d'œil jeté sur une colonne quelconque suffit à le prouver. C'est un condenseur *homotherme* (à température uniforme) ; pour un déflegmateur il faut un condenseur *hétérotherme* (à températures différentes) disposé exactement comme une colonne.

Dans le condenseur ci-dessus la distance entre les deux surfaces concentriques des tubes était très faible, en sorte que les vapeurs s'élevaient avec une très grande vitesse. D'autre part, comme il n'y avait dans cet espace aucune chicane pour retenir un certain temps le liquide, celui-ci étant exposé à l'action de la vapeur pendant un temps trop court pour qu'un effet notable se produisît. Mais le temps seul ne suffit pas, il faut aussi une surface

de contact suffisante entre la vapeur ascendante et le liquide qui chemine vers le bas ; et plus cette surface est grande, plus le temps nécessaire pour l'obtention d'un certain effet est petit. A ce point de vue également, le condenseur en question était imparfait, car il ne pouvait s'établir, dans les petits espaces compris entre les tubes, une bien grande surface de contact.

Toutes ces conditions pour l'obtention d'un certain effet déflegmateur, M. Pampe les avait déjà reconnus en 1879. Il savait que le condenseur Savalle ne produit qu'une déflegmation presque nulle, tandis que les bassins de Pistorius (fig. 291) et les déflegmateurs lenticulaires comme les construisent aujourd'hui Egrot et Granger, et Deroy fils, et beaucoup de constructeurs allemands, produisent un réel effet. Il est certain que ces constructeurs arrivent avec un simple alambic surmonté de deux ou trois plateaux à produire un alcool à environ 80° c., et que ces lentilles sont des déflegmateurs à contre-courant.

M. Pampe a récemment appliqué le principe de son condenseur à contre-courants à la construction d'un *séparateur d'aldéhyde*. En sortant du condenseur déflegmateur, les vapeurs entrent dans un condenseur agencé d'une manière un peu différente ; là elles se condensent en majeure partie ; le liquide subit, comme précédemment, les échanges moléculaires, puis coule au réfrigérant, et de là à la grande éprouvette, pendant que la vapeur non condensée se rend dans un autre réfrigérant et de là coule à la petite éprouvette des têtes.

Cet appareil réussit réellement à séparer des produits de tête ; dans une grande distillerie où il a été ajouté à des rectificateurs ordinaires, on a constaté qu'il augmentait la finesse de l'alcool. Donc ; que l'on critique tant que l'on voudra l'adjonction de ce satellite, le résultat qu'il donne prouve que le condenseur rationnel est supérieur au condenseur ordinaire ; cela nous suffit pour le moment, car c'est la seule question qui nous occupe ici.

Colonnes rectificatrices de M. Barbet

568. *Colonne rectificatrice simple de Barbet.* — Pour atteindre aux plus hautes finesses, aux plus grandes marques connues, M. Barbet conseille de faire tout d'abord de la distillation à haut degré avec extraction des têtes et des queues. Cette distillation est surtout avantageuse lorsque la nature des matières distillées permet d'employer un récupérateur de la chaleur des vinasses.

Cet appareil ne comprend pas d'épuration, mais simplement une colonne d'épuisement surmontée de la colonne rectificatrice A. Le flegme *dégrossi* est extrait en p, refroidi en D et récolté à l'éprouvette M. Les produits de tête condensés en B coulent à l'éprouvette N. Les produits de queue extraits en a sont recueillis en o. L'éprouvette P sert à la vérification de l'épuisement de la vinasse. R est le récupérateur de la chaleur des vinasses et X le régulateur.

569. *Colonne rectificatrice jumelle, modèle 1894, de M. Barbet.* — Cet appareil n'est que le précurseur des appareils de distillation rectification directe que M. Barbet a construits plus tard. Il a pour but de faire aussi économiquement que possible de l'alcool de bourse, c'est-à-dire de l'alcool de qualité ordinaire.

Il se compose de 2 colonnes, l'une fait l'épuisement du vin et l'extraction-concentration des éthers; l'autre produit la concentration de l'alcool, l'extraction-concentration des traces de produits de tête échappés à la colonne précédente et la séparation des huiles.

Cet appareil diffère des colonnes jumelles allemandes ou anglaises par le fait que la première colonne possède, au-dessus de l'alimentation, quelques plateaux rectificateurs, ainsi qu'un condenseur et un réfrigérant.

Ce n'est pas de la vapeur alcoolique à bas degré mais un flegme épuré et bouillant qui va de la première à la seconde colonne.

Les vapeurs alcooliques à 40° environ, produites par les plateaux d'épuisement B, montent dans les plateaux supérieurs A où il se forme un classement des liquides alcooliques par degrés croissants comme dans les appareils précédents. A l'éprouvette I on recueille un volume très réduit de produits de tête de façon à les avoir très concentrés. La rétrogradation du condenseur est très impure, on la laisse descendre graduellement jusqu'à la base des plateaux rectificateurs, et dans ce long parcours méthodique, elle a tout le temps de se *pasteuriser* à fond, c'est-à-dire de perdre toute trace de produits de tête.

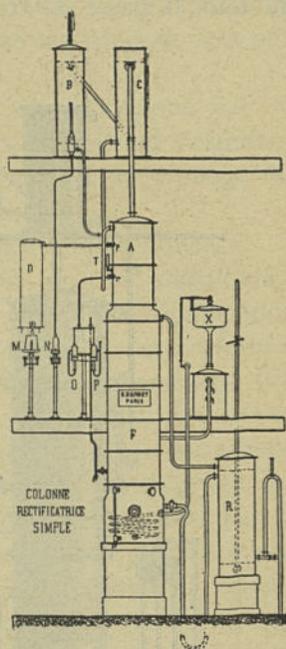


Fig. 347. — Colonne rectificatrice simple de Barbet (1899).

En E, on fait sortir la *totalité* du liquide rétrogradé. Il contient la totalité des produits de queue, mais il est dépouillé de produits de tête. Il passe à travers une éprouvette fermée H pour que

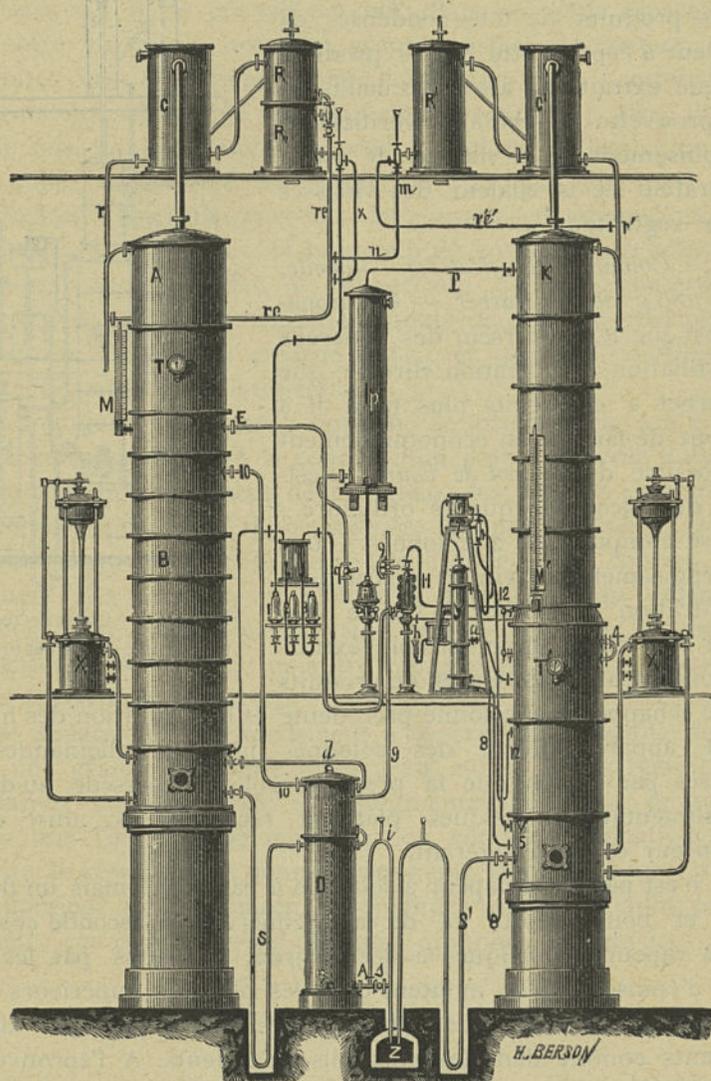


Fig. 348. — Colonne rectificatrice jumelle (E. Barbet).

l'on se rende compte du degré alcoolique approximatif et du débit. Ce degré est indiqué d'ailleurs d'une façon plus précise par la température qu'accuse le thalpotasimètre T.

La 2^e colonne est constituée comme celle d'un rectificateur continu avec pasteurisation au tronçon K.

Le vin arrivant par le tuyau 9 entre au bas du récupérateur D en dessous de la plaque tubulaire, traverse les tubes et sort par le tuyau 10 pour alimenter la colonne B.

Les vinasses sortent du soubassement de la colonne par le siphon S, passent autour des tubes du récupérateur et s'écoulent par A i Z dans l'aqueduc. Un robinet s sert à la vidange du récupérateur.

Une petite colonne Y sert à la concentration des huiles.

Celles-ci entrent en a à mi-hauteur de cet appareil additionnel, dont les plateaux supérieurs servent à faire une rectification sommaire. Le *pasteurisé* de cette colonne fournit à l'éprouvette h des huiles à 90-91^o, très mauvaises et ne contenant que très peu d'alcool éthylique. tandis que celui-ci monte au condenseur et au réfrigérant 6, 7, d'où on le fait descendre par le tuyau en siphon 12 dans les plateaux d'épuisement de la colonne rectificatrice. La vinasse de ce petit appareil descend dans cette colonne par le tuyau 8. Le tuyau V sert à contrôler l'épuisement de la vinasse de la colonne. Le tuyau 5 fournit la petite quantité de vapeur nécessaire au chauffage de la petite colonne.

Le bon goût pasteurisé extrait en p du tronçon K est refroidi dans le réfrigérant p' alimenté d'eau et il est récolté à l'éprouvette P, r et r' sont les rétrogradations — r e r' e', les excédents des soutirages de non pasteurisé.

On peut aussi faire rentrer le non pasteurisé de la 2^e colonne à l'épurateur des têtes par le tuyau m n.

D'après les critiques de M. Barbet lui-même, que nous reproduisons plus loin, l'inconvénient de cet appareil est que toutes les vapeurs provenant de l'épuisement du vin sont envoyées à l'épurateur des têtes, où une si grande quantité de chaleur est non seulement inutile, mais encore nuisible, en ce qu'elle donne un volume énorme de rétrogradation qui occasionne une énorme consommation de vapeur, un degré beaucoup trop élevé qui gêne l'expulsion des têtes, et enfin un réglage difficile de l'extraction des têtes, par suite de la disproportion énorme entre le coulage et la rétrogradation.

570. *Rectificateur continu des flegmes type 1900, de M. Barbet.* — Ce nouveau modèle, qui a été adopté par le Monopole des alcools de Russie à l'usine de Moscou, se distingue des précédents par les perfectionnements suivants :

1° Emploi des calottes peignes .

2° Plateaux inférieurs à très grands stocks de liquide, 8 et 10 cm. de hauteur de trop-pleins, afin de donner du *volant* aux appareils (perfectionnement introduit depuis 1893).

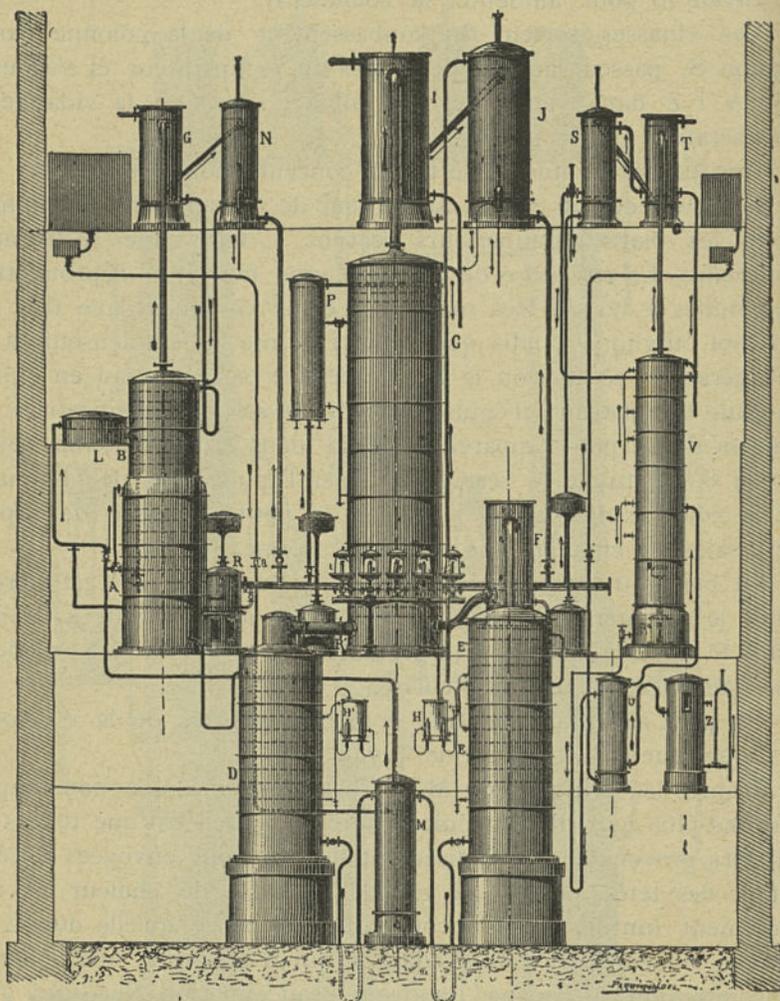


Fig. 349. — Rectificateur continu des Flegmes, système Barbet, type 1900, avec son Rectificateur continu des mauvais goûts, à droite
Modèle adopté par le Monopole des alcools de Russie à l'usine de Moscou et construit par Wauquier et Fils, de Lille.

3° Épuisement en deux colonnes distinctes du flegme épuré et des reflux amyliques des plateaux rectificateurs.

Dans les rectificateurs continus construits jusqu'ici par M. Barbet,

la chaudière des rectificateurs discontinus est remplacée par la partie inférieure (colonne d'épuisement) du continu proprement dit. Dans cette série de plateaux d'épuisement descendent simultanément le flegme venant de l'épurateur, et les reflux des plateaux rectificateurs (de la colonne de concentration du continu proprement dit). Comme ces reflux sont bien plus chargés de produits amyliques que le flegme, il y a intérêt, quand on veut viser aux plus hautes qualités de l'alcool, à éviter cette promiscuité. Les praticiens savent que, dans les rectificateurs discontinus, l'on obtient de meilleurs résultats lorsque la charge se compose exclusivement de flegmes que lorsqu'elle comprend un remploi de moyens goûts. Le problème consiste donc à ne plus mêler dans l'appareil des moyens goûts au flegme, mais à n'admettre que des produits d'une pureté au moins équivalente.

Si on se bornait à faire les deux épuisements à part, tout en mélangeant les vapeurs résultantes au bas de la colonne de rectification, le bénéfice serait nul; mais la scission permet de faire à part une purification des reflux comme nous allons le voir.

Dans la fig. 348 on voit à gauche, sur le plancher du 1^{er} étage, l'épurateur des têtes, composé des tronçons d'épuisement A recevant le flegme venant directement du récupérateur ou du débourbeur L, et des tronçons de concentration B recevant les rétrogradations des 2 condenseurs G, N. Au milieu du dessin se trouve le continu proprement dit, composé des 2 colonnes d'épuisement D et E posées sur le sol; l'une D reçoit le flegme épuré venant des tronçons A et l'autre E reçoit les reflux amyliques de la colonne E. Entre ces 2 colonnes et sur le plancher du 1^{er} étage se trouve placée la colonne de concentration C du continu proprement dit surmontée du condenseur double I J.

Nous avons dit qu'on faisait à part une purification des reflux. Dans ce but, on ajoute, au-dessus du plateau qui reçoit le reflux, quelques plateaux rectificateurs E'. La vapeur alcoolique, après avoir traversé ces plateaux supplémentaires, passe dans le condenseur F, et se divise en 2 parties: la partie condensée rétrograde et sert de liquide laveur aux vapeurs montantes pour refouler les huiles amyliques qui voudraient monter. Aussi la seconde partie, restée non condensée, est-elle bien plus pure que le reflux, et elle peut désormais se mélanger aux vapeurs de flegme sans les souiller. Il en résulte une facilité plus grande de raffinage et par conséquent un alcool encore plus neutre.

La colonne C est munie de la *pasteurisation* P. On extrait de 90 à 95 % d'alcool pasteurisé. L'alcool pasteurisé est rentré immédiatement à l'épurateur ; c'est une rétrogradation visible. Sa proportion varie, suivant la qualité à obtenir, de 5 à 15 %. Quelques industriels conservent ce *non pasteurisé*, mais il passe alors pour n° 2, alors que le pasteurisé est de l'alcool extra. On peut en extraire ce qu'on veut, à condition de diminuer parallèlement le pasteurisé.

Repassage des mauvais goûts. — Lorsque l'on retire moins de 90 % d'alcool pasteurisé au rectificateur continu, que ce soit pour le travail direct des vins ou pour celui des flegmes, on a généralement intérêt à faire un repassage des mauvais goûts extraits, car ils sont susceptibles de fournir une proportion importante de bon alcool.

L'appareil qu'emploie M. Barbet pour cet usage est représenté dans la partie à droite de la fig. 348. Il se compose d'une seule colonne à plateaux V, munie d'un condenseur T, d'un réfrigérant S à réglage invariable du coulage, d'un régulateur de vapeur et d'un récupérateur de chaleur U. On le complète au besoin par un décanteur d'huiles amyliques Z.

On repasse à part les deux catégories de mauvais goûts, de tête et de queue. Supposons d'abord un repassage de tête : La nouvelle sélection se fait par pasteurisation. Les aldéhydes tout à fait concentrées sont extraites en tête, à la sortie du réfrigérant S, dans la proportion de 15 à 25 %. Le pasteurisé se prélève, non pas au premier robinet du haut, mais au deuxième et même au troisième, pour que l'expulsion des têtes soit plus radicale. Ce produit est réfrigéré, et retourne dans les flegmes bruts à rectifier, ou bien dans les vins. On n'extrait pas d'huiles.

Supposons maintenant un repassage d'huiles amyliques. C'est le produit non-pasteurisé sortant du réfrigérant S qui sera, à raison de 50 à 75 %, le produit récupéré à diriger dans le flegme brut.

On fera une extraction de fusel concentré à l'un des deux robinets du milieu, à celui où le degré alcoolique sera le plus voisin de 50°, chose qui dépend du degré du fusel mis en repasse. Enfin il ne faut pas oublier qu'il y a aussi des mauvais goûts de queue solubles dans l'eau, qui sont plus volatils que l'alcool amylique, et qui sont à leur maximum de concentration dans la région de l'appareil où l'alcool atteint environ 85 à 90° (troisième

robinet). On en fera une extraction continue, les dites impuretés étant destinées à être vendues ou brûlées.

Lorsque les fusels à repasser sont très chargés d'huile insoluble, il est impossible, même par une forte extraction à l'étage à 50°, d'épuiser totalement les eaux résiduaires.

En effet, l'alcool amylique se sépare en gouttelettes, et à partir de ce moment le liquide ne suit plus la loi de distillation des « liquides complexes entièrement miscibles ». N'étant plus en dissolution intime, les gouttelettes d'huiles reprennent leur température normale d'ébullition vers 130°; donc elles ne distillent plus et restent dans une certaine proportion avec les eaux résiduaires.

Pour ne pas perdre ces huiles, M. Barbet donne au récupérateur U une disposition telle que les eaux résiduaires y font une première décantation; en Z nouvelle séparation. Une glace permet de voir la couche huileuse, qu'on retire par un robinet latéral.

L'appareil peut au besoin repasser des mauvais goûts complexes contenant têtes et queues mélangées. Dans ce cas l'on retire par S (non-pasteurisé), les têtes concentrées; au premier robinet de pasteurisation, l'alcool récupéré qui doit rentrer dans les flegmes; au troisième robinet, les produits isobutyliques à 85-90°. Plus bas les huiles concentrées à 50°; et enfin dans le décanteur Z les huiles décantées. Au total 5 fractionnements simultanés.

Les huiles à 50°, étendues d'un peu d'eau, donnent à la surface une couche huileuse insoluble; le liquide sous-jacent peut rentrer dans les fusels à repasser.

Appareil débourbeur. — Lorsque l'on a des flegmes à très haut degré, il importe, avant la rectification, de les réduire à environ 40° seulement par une addition d'eau appropriée. M. Barbet se sert d'un mélangeur continu muni d'une éprouvette pour le contrôle permanent du degré de dilution. Mais les flegmes dilués à l'eau présentent un inconvénient assez désagréable: le calcaire de l'eau de coupage étant insoluble dans l'eau, se précipite, surtout à chaud. Si l'on ne prend aucune précaution contre cette réaction, les premiers plateaux d'alimentation de l'épurateur continu se chargent de calcaire au point d'obstruer bientôt les orifices et d'entraver la marche de l'appareil.

Pour obvier à ce désagrément, M. Barbet installe un appareil débourbeur L, dans lequel le flegme est amené à ébullition par barbotage direct. Il en résulte que le précipité de calcaire se fait dans L et non plus dans l'épurateur. De loin en loin, on met le

débourbeur hors de la circulation des flegmes, au moyen d'un jeu de robinets ; on le rince à l'eau pour ne pas perdre d'alcool, puis on l'ouvre et on le détartre à l'acide. Après nouveau rinçage, on le referme et l'on remet le débourbeur en marche, sans que le travail de l'épurateur ait été interrompu.

Rectification continue directe des vins ou moûts fermentés sans distillation préalable

571. On a depuis longtemps cherché à produire de l'alcool bon goût directement en partant du vin. Cette question a surtout été étudiée en ces derniers temps, par deux ingénieurs français, M. Barbet et M. Guillaume. D'après M. Guillaume, les appareils de distillation rectification continue et directe peuvent être divisés en deux catégories :

1° Ceux qui sont basés sur un fractionnement fait dans la distillation même des moûts.

2° Ceux qui sont basés sur l'emploi des vapeurs alcooliques brutes provenant de la distillation intégrale des moûts.

D'après M. Barbet la dénomination de rectification directe pour les appareils de cette 2^e catégorie est un leurre. Solidariser une colonne à distiller avec un rectificateur continu des flegmes n'est pas faire de la *rectification* directe. Cette solidarité n'est qu'un lien fragile et facultatif, et ce n'est pas sur le moût que se font les fractionnements de tête et de queue. La partie qui fait à proprement parler la rectification ou purification a pour point de départ tantôt du flegme liquide, tantôt du flegme en vapeur, mais c'est toujours du flegme et non du moût. Ce n'est pas de la rectification directe des vins.

Il n'y pas là qu'une simple chicane de mots ; il y a une question de principe et une question d'économie de construction.

D'après M. Guillaume, au contraire, la première solution est la plus mauvaise :

572. *Appareil de rectification continue directe des vins de M. Barbet.* — Cet appareil, appartenant à la 1^{re} catégorie définie ci-dessus, n'est en quelque sorte que l'extension du rectificateur continu des flegmes à l'emploi de flegmes de plus en plus dilués. Il n'existe pas de point précis pour séparer le flegme pauvre du vin riche ; et a *priori* tous les principes reconnus vrais en rectification de flegmes doivent l'être également en opérant directe-

ment sur les vins. Il n'y a que des difficultés d'ordre pratique, car il faut, en partant de vins très faibles, comme on en rencontre en distillerie agricole, atteindre d'un seul bond à 96°,5, degré indispensable pour obtenir des alcools vraiment purs.

L'Épuration continue du vin, pour enlever des produits de tête seuls sans épuiser le vin de son alcool, présente une difficulté résultant de ce que la quantité de ces produits est une fraction excessivement faible ($\frac{1}{1000}$ à $\frac{1}{2000}$) du volume du liquide distillé. Le volume du liquide à échauffer, à faire bouillir et à faire circuler est dix fois plus grand que lorsqu'il s'agit de flegmes. On a réussi à annuler à peu près les effets de cette disproportion par un chauffage complémentaire des vins sortant du chauffe-vin avant leur entrée dans l'épurateur. La température est portée à un point très voisin de l'ébullition, de telle sorte que l'appareil lui-même n'ait plus rien à fournir. Cet artifice ne comporte aucune dépense de vapeur complémentaire, car il est bien évident que le nombre de calories à fournir au vin est le même, qu'on les lui donne soit au moment d'entrer, soit tout de suite après son entrée. Mais au point de vue de la régularité de marche de l'appareil, surtout quand on a à modifier l'alimentation, c'est tout à fait différent. Un thermomètre à cadran T (fig. 353), à cadran bien visible, renseigne à tout moment le distillateur sur le bon réglage du chauffage complémentaire en M.

Grâce à ce perfectionnement, l'épuration continue directe des vins se fait, d'après M. Barbet, aussi correctement que celle des flegmes.

Pour obtenir 96°5 avec des vins très faibles, il faut donner aux plateaux une très grande puissance, car l'on ne peut pas augmenter indéfiniment le nombre de ceux-ci, surtout en distillerie agricole. La hauteur qu'il faudrait donner aux bâtiments ne serait pas volontiers acceptée et de plus le prix des appareils deviendrait excessif.

Les appareils distillatoires offrent généralement une grande exagération du nombre des plateaux ; cela provient de l'imperfection habituelle du barbotage de la vapeur dans le liquide. Avec les calottes rondes ou longues à bords lisses, la vapeur passe sous forme de bulles énormes. Celles-ci n'ont de contact avec le liquide que par leur périphérie ; toute la vapeur du centre des bulles vient crever à la surface sans avoir été utilisée.

Comme puissance d'analyse, on ne pouvait jusqu'ici rien désirer

de mieux que les plateaux perforés de Savalle qui *molécularisent* la vapeur dans le liquide alcoolique et donnent ainsi le maximum de facilité à l'échange de la vapeur faible contre une vapeur plus riche. Malheureusement ces plateaux risquent à tout moment de se décharger pour la moindre variation de la pression, et ces variations se produisent chaque fois que l'on modifie l'alimentation. Enfin par l'usage et surtout avec les vins ou moûts fermentés qui sont acides, les trous s'agrandissent, et l'appareil ne fonctionne plus normalement.

M. Barbet a cherché un plateau qui eût la puissance des plateaux perforés sans en avoir les inconvénients, et il y est arrivé par son plateau à *calottes-peignes*. Celui-ci est constitué par un très grand nombre de toutes petites calottes en cuivre embouti, équidistantes, autour desquelles le vin se divise et circule avec facilité. La longueur développée de la ligne de barbotage de la vapeur est augmentée dans une proportion considérable par rapport aux anciens types. Enfin, et c'est cela qui caractérise

le système, le pourtour de toutes ces petites calottes est divisé par une infinité de traits de scie assez profonds, qui font ressembler

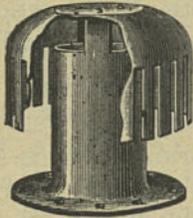


Fig. 350.
Calotte-Peigne.

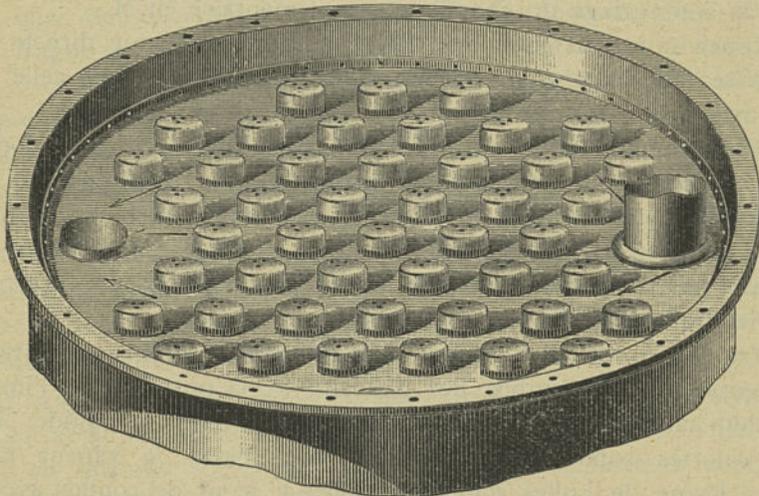


Fig. 351. — Plateau à Calottes-Peignes.

ces organes à des sortes de *peignes* à longue denture. La vapeur emprisonnée sous chaque calotte se lamine finement à travers

tous ces peignes, et il en résulte une molécularisation parfaite, une utilisation maxima.

Avec les anciens plateaux perforés, les gouttelettes de liquide étaient projetées verticalement contre le plateau supérieur (1). Ici, au contraire, les jets de vapeur sont horizontaux et s'entrechoquent ; il en résulte une émulsion beaucoup plus tranquille, plus régulière et sans entrainements.

Enfin ces calottes ne peuvent pas être faites autrement que d'une façon mécanique ; il en résulte une grande régularité et une grande uniformité de section de passage de la plongée, etc.

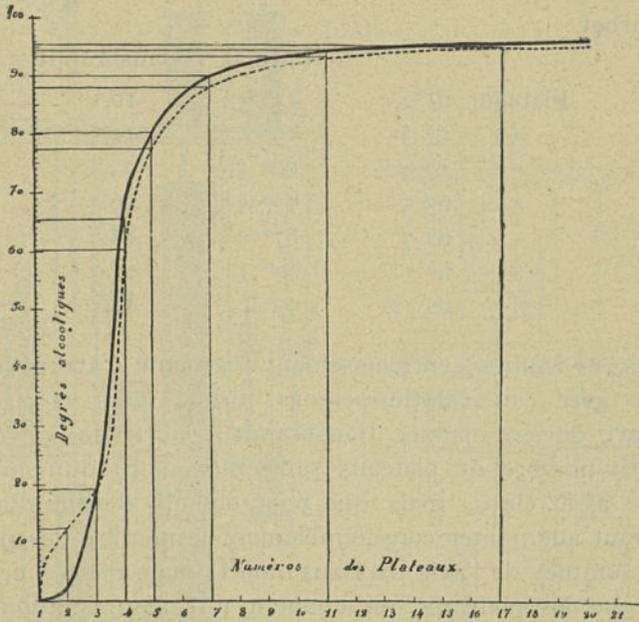


Fig. 352. — Diagramme de l'enrichissement de plateau en plateau (calottes-peignes de M. BARBET)

Pour contrôler l'efficacité de ses nouveaux plateaux, M. Barbet a effectué des expériences précises à la base des tronçons réservés à la rectification. A un certain nombre de plateaux il a placé un petit robinet permettant de faire une prise de liquide alcoolique près de la chute du trop plein du plateau placé immédiatement au dessus.

(1) Ceci n'était vrai que lorsque l'écartement entre deux plateaux consécutifs était faible et la pression assez forte. En marchant à basse pression avec un écartement de 200 m/m de plateau en plateau, cet inconvénient ne se produit pas (G. D.).

Après avoir pesé ses échantillons à l'alcoomètre, M. Barbet a tracé en pointillé le diagramme de l'enrichissement de plateau en plateau. A côté de celui-ci il a tracé une courbe en traits pleins donnant l'enrichissement théorique suivant la table de M. Sorel. M. Barbet conclut de ces courbes qu'on obtient de plateau en plateau une augmentation de degré égale à 75 % de l'augmentation théorique.

Un travail analogue a été fait en Allemagne par Hausbrandt (1) ingénieur de la maison Heckmann, de Berlin, sur un appareil à petites calottes à bords lisses.

Nous donnons ici les chiffres de Hausbrandt à côté de ceux de M. Barbet.

		Barbet	Hausbrandt
Plateau	n° 2	12° 4	10,1
»	n° 3	19° 1	12,3
»	n° 4	60° 2	23,5
»	n° 5	77° 4	56,1
»	n° 7	87° 9	88
»	n° 11	93° 3	92,9
»	n° 17	95° 5	94,1

D'après ces chiffres l'enrichissement augmente d'abord beaucoup plus vite avec les calottes-peignes jusque vers le 7^e plateau, puis l'écart devient faible. Hausbrandt conclut de ses résultats qu'un petit nombre de plateaux suffisent pour produire un degré alcoolique assez élevé, mais que pour obtenir des produits très purs, il faut augmenter considérablement le nombre des plateaux.

Nous sommes de l'avis de Hausbrandt, mais malgré cela nous pensons que les plateaux qui donnent une augmentation rapide de degré dans le bas de la colonne donnent aussi des résultats supérieurs dans le haut de la colonne ; car si les plateaux du bas ont surtout pour but de séparer l'eau de l'alcool, ceux du haut ont principalement pour mission de séparer l'alcool de ses impuretés. On doit toujours s'attacher à augmenter le plus possible la puissance d'analyse des plateaux. M. Barbet dit qu'avec ces plateaux il arrive à obtenir directement un alcool à 96° en partant de vins ne renfermant guère plus de 1 % d'alcool.

Voici maintenant le schéma et la légende du rectificateur direct des vins (fig. 353) :

(1) *De Wirkungsweise der Rectificir- und Destillir-Apparate*. Springer, Berlin, 1893.

- A Epurateur continue des vins ;
- R₁ Condenseur ;
- R₂ Réfrigérant des têtes d'épurateur ;
- B Rectificateur proprement dit ;
- C Condenseur (qu'on peut remplacer par un chauffe-vin) ;
- R Réfrigérant des têtes du continu (ou non pasteurisé) ;
- p Extraction de l'alcool pasteurisé ;
- K Réfrigérant triple pour pasteurisé, huiles amyliques et épreuve de l'épuisement ;

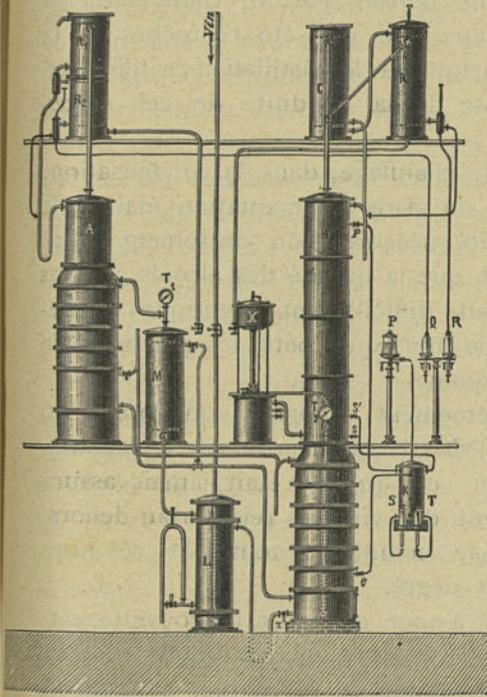


Fig. 353. — Rectificateur continu direct des Vins.

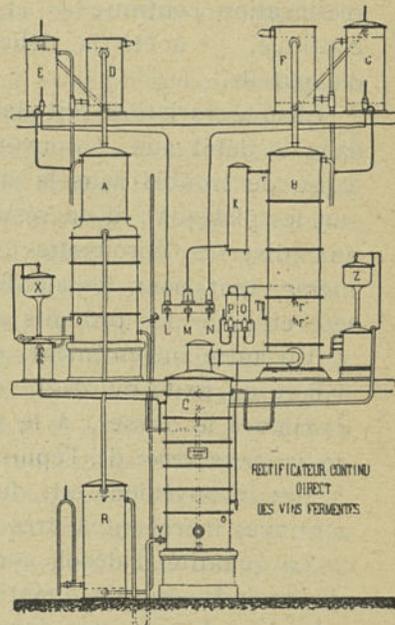


Fig. 354.

- ss' Extractions d'huiles amyliques ;
- P Eprouvette du pasteurisé ;
- Q Eprouvette des têtes concentrées de l'épurateur ;
- R Eprouvette du non pasteurisé qui rentre dans le vin ;
- S Eprouvette des huiles amyliques ;
- T Eprouvette d'épreuve de l'épuisement ;
- X Régulateur de vapeur ;
- L Récupérateur de la chaleur des vinasses ;

M Chauffage complémentaire du vin ;

T₁ Thermomètre pour contrôler la température du vin ;

T₂ Thermomètre pour la conduite de l'alimentation.

Lorsqu'il s'agit de moûts épais, susceptibles d'encrasser les plateaux de distillation, on peut donner à l'appareil de rectification directe la disposition de la fig. 354 qui ne diffère de la précédente qu'en ce que les tronçons rectificateurs, toujours propres, ne sont plus superposés à ceux de distillation, laissant ainsi toute facilité au démontage et remontage de ceux-ci.

573. — *Critique des appareils Barbet, par M. Guillaume.* — Un des inconvénients principaux qui ont été reprochés à la rectification continue — et, surtout, à la distillation-rectification continue, — a été la délicatesse de la conduite de ces sortes d'appareils.

Chaque variation soit dans le chauffage, dans la condensation, dans le débit aux éprouvettes ou dans l'alimentation était une cause de trouble dans la stabilité nécessaire du classement opéré sur les plateaux : il en résultait que la qualité des alcools sortant aux diverses éprouvettes restait difficilement identique à elle-même, tant pour les alcools bon goût que pour les produits de tête et pour les produits de queue.

Un autre inconvénient, extrêmement important, qui résulte du défaut de fixité du degré de l'alcool sur chacun des plateaux, destinés à le classer, à le sérier, est qu'on n'était jamais assuré de la *permanence* de l'épuisement des vinasses rejetées au dehors.

Cet inconvénient est, du reste, commun à toutes les colonnes continues marchant à très haut degré.

La quantité d'alcool, compté à 100°, coulant à l'éprouvette, est-elle moindre que la quantité qu'introduit l'alimentation, tout de suite la colonne entre dans un régime de surcharge, et, comme les plateaux du haut ne peuvent pas augmenter sensiblement leur richesse en alcool, parce qu'ils sont déjà à très haut degré, il faut absolument que cette surcharge soit absorbée par les plateaux avoisinant l'alimentation et ceux du dessous ; de telle sorte que, si on n'y remédie pas presque immédiatement, l'épuisement va s'en ressentir très vite et le surplus de l'alcool partira régulièrement avec les vinasses de façon à rétablir la balance entre l'entrée et les sorties.

Ce régime durera tant qu'on n'aura pas fait varier — et presque toujours pour retomber dans l'excès contraire — le coulage

aux éprouvettes, ou bien qu'on n'aura pas diminué l'alimentation dans la proportion nécessaire.

Si, maintenant, la quantité d'alcool coulant à l'éprouvette est plus grande que celle introduite par l'alimentation, il faut nécessairement que la colonne se décharge progressivement du manquant exact produit par l'excès de la sortie sur l'entrée, ce qui sera baisser progressivement le degré à l'éprouvette.

Les plateaux vont donc s'épuiser successivement à partir du bas, et si le plateau où le degré alcoolique était de 40°, par exemple, se trouvait être tout à l'heure le 12^e en comptant à partir du bas, il devient d'abord le 13^e, puis le 14^e, le 15^e, etc., en continuant à remonter ainsi de plus en plus tant qu'on n'aura pas diminué suffisamment le coulage aux éprouvettes ou augmenté convenablement l'alimentation.

Or, pour ramener les choses en place et faire revenir le régime normal du classement sur chaque plateau correspondant, quand il s'agit de distillation-rectification continue ou de rectification continue, il faudra nécessairement forcer chaque fois la correction à faire, ce qui fera retomber dans l'excès contraire et ainsi de suite.

On voit donc que si on n'y prend garde, tantôt, quand la colonne se charge de trop, l'excès d'alcool finit vite par descendre jusque dans le soubassement pour partir à l'égout avec les vinasses; tantôt, par contre, le degré baissant progressivement sur les plateaux inférieurs, le siège de la concentration maximum des produits de queue remonte vers le haut et la série des plateaux qui suivent ce degré de concentration maximum des huiles, lesquels en sont souillés eux-mêmes dans une proportion décroissante, remonte d'autant, se rapprochant ainsi de plus en plus des plateaux supérieurs qui devraient en demeurer tout à fait exempts.

Il se produit ainsi sur les plateaux une série de fluctuations continues, qui deviennent très dangereuses si on n'a pas le soin d'en diminuer l'amplitude par une attention suffisante, et telle qu'on sente pour ainsi dire battre constamment le pouls des appareils, pour faire les corrections en temps utile et avec la délicatesse de doigté nécessaire.

Ajoutons que plus les appareils sont à grand débit et moins ils sont difficiles à conduire — parce que plus grande est leur force d'inertie et plus de chances il y a qu'ils soient conduits par des distillateurs attentifs et intelligents.

Distillation-rectification continue proprement dite. — Il est facilement compréhensible que la difficulté s'accroît beaucoup quand

il s'agit d'opérer la distillation-rectification continue en une seule opération, c'est-à-dire sans aucune station intermédiaire, en raison de la variation de la richesse des vins à distiller, d'une cuve à l'autre, des passages des fonds de cuves et des lavages, des ralentissements dans l'alimentation des vins à la colonne à distiller, par suite d'obstructions momentanées, partielles ou totales, du robinet d'alimentation, des accélérations, ralentissements ou même arrêts de quelques heures souvent nécessaires pour suivre la marche de la fermentation, etc. Quand il s'agit de distiller des moûts épais, c'est encore pis par suite de la fréquence des obstructions tant dans la tuyauterie que dans la colonne à distiller elle-même.

Or, il n'existe rien dans les systèmes employés jusqu'ici qui puisse parer à cela et régulariser toutes ces irrégularités.

Comme nous le verrons plus loin d'une façon plus précise, le moyen le plus pratique et le plus efficace est d'interposer un « accumulateur » entre l'entrée et la sortie des appareils, lequel remplira le même office qu'un accumulateur électrique interposé entre une source et une dépense d'énergie variables l'une et l'autre.

Il faut remarquer que les vapeurs brutes de distillation sont forcément souillées de tous les produits de tête apportés par les vins; ces vapeurs alcooliques impures ne peuvent donc laver complètement l'alcool — lui-même très impur — qui rétrograde du condenseur dans la colonne et il en résulte que l'épuration obtenue ainsi est encore incomplète.

D'après M. Guillaume, ce sont là les raisons qui ont retardé la propagation des rectificateurs continus — et surtout de la distillation-rectification continue — et ce sont ces difficultés qu'il faut résoudre pour que la généralisation en soit possible et s'impose.

Distillation-rectification continue de M. Guillaume.

574. Avec les appareils de distillation-rectification continue système Guillaume, l'opération est bien scindée en trois phases distinctes, continues et solidaires :

- 1^o Distillation proprement dite ;
- 2^o Extraction des produits de tête ;
- 3^o Extraction des produits de queue.

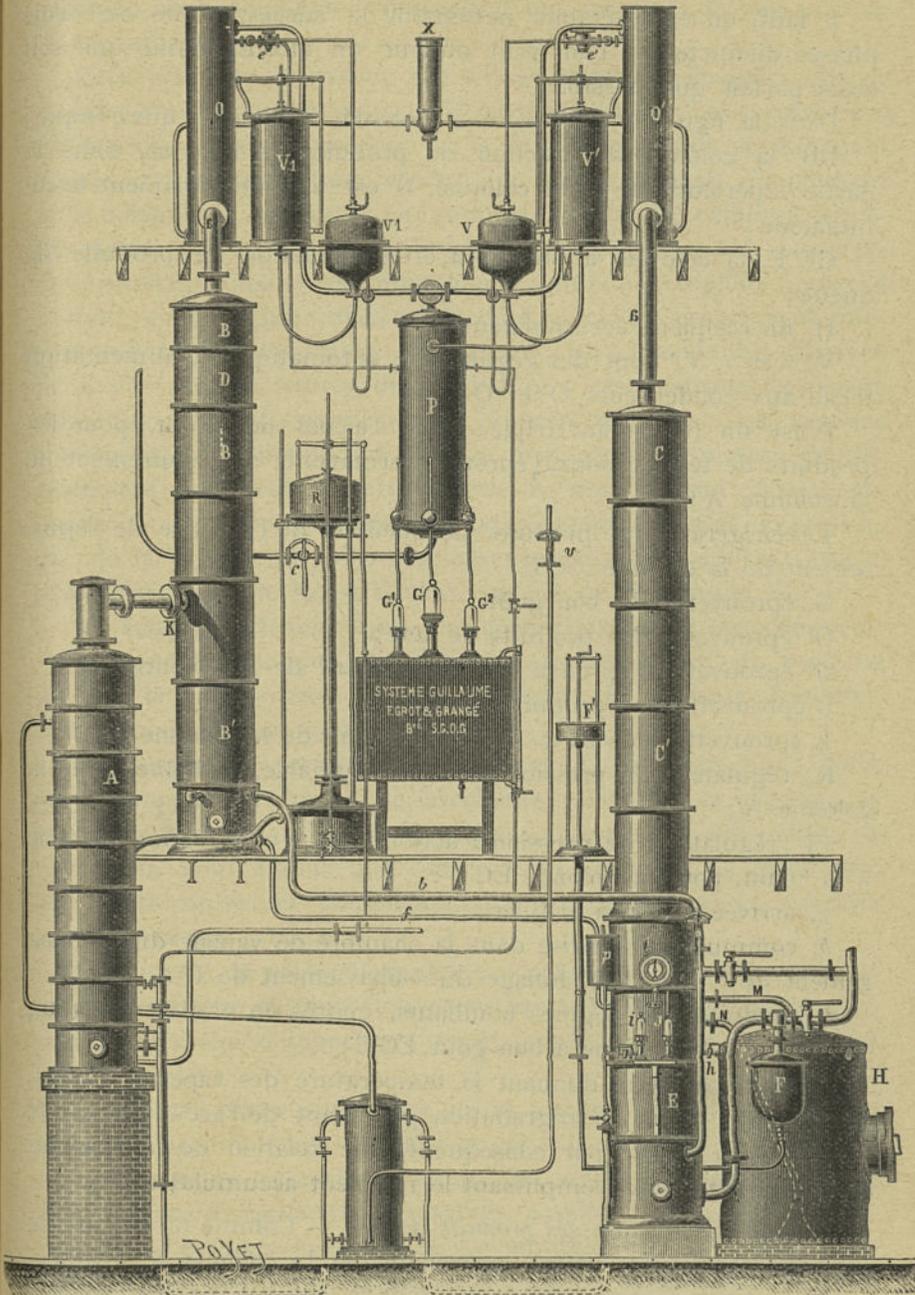


Fig. 355. — Appareil de distillation-rectification continue.
système Emile Guillaume (modèle 1896).

Il faut, en effet, établir nettement la succession de ces trois phases distinctes si l'on veut obtenir un alcool rectifié qui soit aussi parfait que possible.

Dans la figure 355, A est une colonne à distiller quelconque; BB' la colonne d'extraction de produits de tête, et, dans la partie supérieure de cette colonne, D est un petit récipient accumulateur ;

CC'E, la colonne à bon goût et à extraction de produits de queue;

H, un récipient accumulateur ;

V, v et v, V, ' sont des régulateurs automatiques d'alimentation d'eau aux condenseurs O' et O ;

P est un réfrigérant triple : pour l'alcool bon goût, pour les produits de tête et pour l'épreuve permanente de l'épuisement de la colonne A ;

p, réfrigérant des produits de queue et de l'épreuve de l'épuisement de la colonne CC'E ;

G, éprouvette du bon goût ;

G¹ éprouvette des produits de tête ;

G² éprouvette d'épreuve de l'épuisement de la colonne A ;

i, éprouvette des produits de queue ;

J, éprouvette d'épreuve de l'épuisement de la colonne E ;

R, régulateur de pression à régime variable, à chaîne, pour la colonne A ;

FF', régulateur de pression à action directe et à régime variable à la main, pour la colonne EC'C ;

v, arrivée du vin à distiller ;

b, communication prise dans la chambre de vapeur du soubassement de E pour le chauffage du soubassement de B' ;

f, conduite des flegmes bouillants, épurés en produits de tête, pour aller à la colonne à bon goût EC'C ;

t, thalpotasimètre donnant la température des vapeurs alcooliques émises par la rétrogradation provenant de l'accumulateur H par le tuyau N', et, par conséquent, une relation de la richesse alcoolique du liquide emplissant le récipient accumulateur H.

Colonne d'extraction des produits de tête. — Comme on le voit, les vapeurs alcooliques brutes, provenant de la colonne à distiller, entrent par la communication K, dans la colonne d'extraction des produits de tête BB' à une hauteur telle qu'il se trouve à la fois un nombre de plateaux suffisant au-dessus, pour opérer la concentration convenable des produits de tête et, au-dessous, pour

parfaire, pour compléter l'élimination des produits de tête avec de la vapeur vierge.

Ceci est bien nouveau, car on a prétendu jusqu'ici que le liquide alcoolique contenu sur le premier plateau, que traversent les vapeurs brutes provenant de la distillation, était parfaitement épuré en produits de tête, et c'est lui qu'on envoyait directement à la colonne à bon goût. Or, comme cela a été expliqué précédemment, il n'est pas possible que cette épuration soit complète en procédant ainsi. C'est précisément pour la compléter, pour la parfaire, qu'on a placé deux tronçons d'épuration proprement dite, comprenant une quinzaine de plateaux, au dessous de l'arrivée de K des vapeurs brutes de distillation ; ces plateaux reçoivent donc les flegmes, partiellement épurés déjà par les vapeurs provenant de la distillation, par le trop plein du plateau immédiatement supérieur à cette entrée K des vapeurs alcooliques brutes, et ils sont traversés méthodiquement, en sens contraire, par de la vapeur qui était absolument pure en produits de tête à son départ, dans le soubassement, au bas de la colonne B'.

On conçoit facilement ainsi que l'épuration puisse être complète.

Le liquide alcoolique, épuré des dernières traces de produits de tête, se trouve être à 35 - 40° alcooliques et se rend, bouillant, à la colonne à bon goût.

Bien entendu, le gros du travail ayant été effectué directement par les vapeurs provenant de la colonne à distiller, la quantité de vapeur nécessaire au bas de la colonne B' est de ce fait réduite au minimum. Pour établir une comparaison vulgaire, on peut dire que cette opération complémentaire correspond à un rinçage après un lavage grossier.

Revenons à la partie B, destinée à opérer la concentration des produits de tête, où nous trouverons une autre innovation, laquelle, pour avoir moins d'importance que la précédente, n'en a pas moins un réel intérêt :

Dans cette partie supérieure de la colonne B'B, on ménage un récipient accumulateur D, d'assez grande capacité relative, qui a pour but de régulariser l'unité du degré à l'éprouvette, en atténuant les irrégularités passagères possibles, ainsi que d'*emmagasiner les produits de tête* et de les empêcher de descendre dans la partie inférieure de la colonne, au cas où l'extraction en serait momentanément insuffisante à l'éprouvette des têtes.

Dans ce cas, en effet, les produits de tête se concentreraient de plus en plus dans le récipient D (au-dessus duquel il existe

encore quelques plateaux de concentration), avant de pouvoir descendre tout au bas de la colonne, ce qu'il importe d'éviter. Il est clair que si ce récipient contient, par exemple, vingt fois plus de liquide alcoolique qu'un plateau ordinaire, pour une même augmentation du coefficient d'impureté, il absorbera vingt fois plus de cette impureté que ne le fait le plateau ordinaire; ce qui revient à dire que pour absorber une même quantité d'impureté l'augmentation du coefficient d'impureté du liquide du récipient D sera vingt fois moindre que pour le contenu d'un plateau ordinaire. Cela permet d'apprécier quel peut être le degré d'utilité de son application au point de vue de la régularité du fonctionnement des appareils.

De plus, soit à ce récipient même, soit à l'un des plateaux voisins, de préférence à l'endroit où le liquide alcoolique se trouve être vers 90° , on place un robinet pour extraire les produits particuliers qui se comportent comme des produits de tête dans l'alcool à bas degré (dilué par exemple vers 40°), et comme des produits de queue dans l'alcool à haut degré (dès que l'alcool, par exemple, arrive vers 90°). Nous insisterons sur ce point en parlant des nouveaux appareils de M. Guillaume.

Arrivons maintenant aux vapeurs alcooliques parvenues au haut de la colonne BB' et se rendant au condenseur O.

Les vapeurs alcooliques, très chargées de produits de tête, arrivent au bas du condenseur O par une communication a à grande section, de façon à avoir presque égalité de pression entre ce condenseur et le sommet de la colonne; comme on le voit, il n'y a plus de rétrogradation indépendante, la rétrogradation se fait par les communications $a a'$. L'eau de condensation circule de haut en bas. L'ensemble de cette disposition a pour but d'obtenir que la rentrée au haut de la colonne du liquide provenant du condenseur soit bouillante pour que le plateau supérieur ait bien toute sa faculté d'analyse.

On dispose dans l'intérieur des tubes du condenseur, des bâtons ou tubes pleins d'un diamètre un peu moindre, pour que la circulation de l'eau ne se fasse que suivant une section annulaire, afin d'y obtenir une vitesse suffisante pour empêcher l'échauffement progressif d'y produire un contre-courant ascendant (1); la méthode est ainsi maintenue.

(1) C'est un dispositif analogue à celui adopté dans le système d'évaporation à ruissellement de Canard, usité en sucrerie. (L'auteur.)

Pour le faire varier en plus ou en moins, il suffira de faire varier en conséquence l'ouverture du robinet, en suivant les indications du cadran et du vernier, ce qui est très facile.

Production du bon goût. — Revenons donc maintenant à l'alcool épuré tombé dans le soubassement de la colonne BB'.

Il ne contient plus que de l'alcool *bon goût* et des *produits de queue* et se rend immédiatement, d'une façon continue et bouillant, dans la colonne dite à *bon goût cc'*, à hauteur du plateau de réduction.

Cette colonne a pour effet d'extraire complètement les produits de queue et de produire l'alcool rectifié final à un état de pureté aussi parfait que possible. Elle reçoit tout l'alcool provenant de l'alimentation, moins seulement les produits de tête qui ont été éliminés par la colonne BB'; elle doit donc le rendre en totalité aux éprouvettes, sinon le surplus partirait forcément avec l'eau résiduaire rejetée au dehors, du bas du tronçon d'épuisement E.

La vapeur de chauffage est introduite dans le soubassement de E et la quantité en est réglée par un régulateur spécial FF', à action directe et à régime variable à la main, qui est très sensible et très docile et qui constitue lui-même une nouveauté. Le détail en est donné par la fig. 324.

Au fur et à mesure que les plateaux s'élèvent dans la partie supérieure de la colonne C'C, ils s'enrichissent et se chargent d'alcool de plus en plus pur, parce que les produits de queue sont refoulés vers la partie moyenne et le bas, en raison même de l'augmentation de la richesse alcoolique. Les vapeurs parvenues au haut de la colonne sont très pures; elles se rendent au condenseur O' qui est disposé identiquement au condenseur O de la colonne BB' décrit précédemment.

Les choses se passent absolument comme dans la période de plein cœur de la rectification discontinue. Dans l'un et l'autre cas, les produits de tête ont été enlevés précédemment et il ne reste plus en présence que l'alcool bon goût et les produits de queue; or, la présence de ces produits de queue dans le rectificateur discontinu n'empêche pas que ce soit l'alcool le meilleur qui coule à l'éprouvette pendant la période de plein cœur, tout le monde sait cela; cependant, si à ce moment de plein cœur, on prélève un échantillon du liquide qui rétrograde du premier plateau, situé au-dessus de la chaudière, dans cette dernière, on constate qu'il est déjà très chargé en produits de queue.

Il est donc bien compris que la présence de ces produits de

queue ne gêne en rien le coulage du bon goût à l'éprouvette (à la condition, bien entendu, qu'il se trouve un nombre suffisant de plateaux au-dessus du point où ils se concentrent et que le degré de l'alcool à l'éprouvette soit très élevé).

Il est indifférent pour cela qu'il s'agisse de rectificateurs discontinus ou continus, et le résultat sera le même dans les deux cas, s'il y a même nombre de plateaux au-dessus du siège des huiles et même rétrogradation du condenseur.

Les vapeurs alcooliques destinées à l'éprouvette G du bon goût sont extraites au sommet du condenseur O' par un robinet à ouverture progressive et à cadran indicateur muni d'un vernier, semblable à celui décrit pour l'extraction des produits de tête, de façon à pouvoir régler sûrement et modifier à volonté le débit de l'appareil. Ces vapeurs se rendent au réfrigérant et de là à l'éprouvette, comme d'ordinaire.

C'est de l'alcool à très haut degré, de degré et de qualité invariable, grâce à l'ensemble des organes régulateurs introduits dans ces appareils.

Comme dans la colonne BB' d'extraction des produits de tête, on a placé à la partie supérieure de la colonne à bon goût un récipient, identique au récipient D déjà décrit. Il a pour but de constituer une réserve d'alcool à très haut degré en cas d'arrêt de la colonne, de telle façon que l'on puisse reprendre immédiatement le même degré à l'éprouvette dès la remise en route. En outre, il peut éventuellement arrêter et emmagasiner les traces de produits de queue qui pourraient parvenir accidentellement jusque-là, et les empêcher d'aller jusqu'au condenseur et à l'éprouvette, en agissant comme on l'a expliqué pour le récipient D à l'égard des produits de tête.

Récipient accumulateur et séparation des produits de queue. — Ainsi donc, au fur et à mesure que l'alcool s'élève sur les plateaux, il se débarrasse des produits de queue qui rétrogradent, en se concentrant de plus en plus ; de sorte que les huiles, refoulées d'une part du bas de la colonne (par la vaporisation à outrance de tout l'alcool avant l'expulsion des vinasses), d'autre part, de la partie supérieure de la colonne par la rétrogradation à très haut degré, comme il vient d'être dit, se cantonnent dans la partie moyenne inférieure et arrivent à leur maximum de concentration sur les plateaux où la richesse alcoolique est telle que le coefficient d'épuration par l'ébullition qui les concerne se rapproche le plus de l'unité. Pour les huiles amyliques c'est

vers 38-40° (Voir les courbes des coefficients K et K', page 847).

A partir de là, la succession des plateaux représente en s'élevant une gamme descendante au point de vue de leur teneur en impuretés de queue dont la limite est 0 pour les plateaux supérieurs; c'est cette limite qu'il importe d'atteindre et de conserver. Pour cela, il faut rendre invariable le rang du plateau ou le degré alcoolique correspond à ce maximum de concentration; ceci obtenu, il est évident que le classement et la richesse resteront toujours identiques à eux-mêmes pour chacun des autres plateaux et que, par conséquent, d'une part, l'alcool bon goût coulant à l'éprouvette sera toujours identique à lui-même et, d'autre part, l'épuisement en alcool des eaux résiduaires demeurera constant.

A cet effet, M. Guillaume a réalisé un perfectionnement auquel il attribue une grande importance et qui met à néant l'objection principale, opposée jusqu'ici contre les continus.

Il consiste en l'emploi d'un récipient accumulateur H.

La marche de tout l'ensemble est réglée de façon à maintenir sur le plateau qui correspond au point de concentration maximum des huiles le degré alcoolique convenable, soit vers 38-40° par exemple, d'une façon sensiblement invariable.

Ce plateau ne laisse passer que les vapeurs montantes sans laisser rétrograder directement le liquide sur le plateau du dessous.

L'alcool est donc obligé de passer de ce plateau, par la conduit M, dans le récipient-accumulateur H qui est d'une grande capacité relative; il y circule lentement et sans remous pour rentrer ensuite, par le tuyau N, sur le plateau suivant et alimenter la partie E de la colonne faisant fonction de colonne d'épuisement.

L'accumulateur H, qu'on entoure d'une matière isolante pour éviter le refroidissement, remplit ainsi une double fonction :

1° Il est surtout un « accumulateur-régulateur » susceptible d'absorber les excès momentanés d'alcool qui se produisent dans la colonne et de les restituer en temps opportun, et vice-versa, de façon à rendre bien stable le régime de marche du système.

Nous avons vu précédemment que le point délicat, dans la conduite des colonnes marchant à très haut degré, était d'obtenir l'équivalence entre l'alcool sortant des colonnes par les éprouvettes et l'alcool qui y est introduit par l'alimentation des vins, équivalence sans laquelle, ou bien le degré baisse à l'éprouvette du bon goût, ou bien une partie de l'alcool part au dehors avec les eaux résiduaires, si l'on n'y remédie assez à temps.

Or, l'emploi de l'accumulateur pare à cet inconvénient.

En effet, à l'endroit où il agit, le liquide alcoolique peut très bien baisser ou augmenter de 5°, par exemple, sans que cela ait une répercussion appréciable, soit sur les plateaux du haut, soit sur l'épuisement du bas, et sans qu'il se produise un déplacement sensible dans le classement sur les autres plateaux ; c'est le point de toute la colonne où une modification de degré exerce le moins d'influence dans des limites données ; c'est le degré qui correspond au maximum d'élasticité inoffensive.

Or, en donnant, par exemple, à ce récipient une capacité de vingt hectolitres, il absorbera ou restituera deux hectolitres d'alcool à 100° pour une variation totale de 10 degrés de son liquide alcoolique, soit 5° en plus ou en moins du degré moyen normal. Il parera ainsi très facilement pendant quatre heures à une insuffisance ou à un excès d'alimentation correspondant à 50 litres d'alcool à 100° à l'heure sur le coulage aux éprouvettes. Il faudrait une bien grande négligence pour qu'il y eut une telle différence entre l'entrée et les sorties d'alcool et pour que le distillateur ne passât pas devant ses appareils pendant un tel laps de temps. Du reste, il va de soi que le constructeur peut augmenter à volonté la capacité de ce récipient suivant les installations.

Grâce à cet organe, les passages des fonds de cuves à la distillation, les petits arrêts et les autres accidents momentanés n'exerceront plus aucune influence sur la bonne marche des colonnes.

Il suffit de jeter un coup d'œil trois ou quatre fois par jour, sur le thalpotasimètre *t*, qui indique la température des vapeurs alcooliques émises par le liquide provenant du récipient H et, par suite, donne une relation du degré alcoolique de son contenu, pour modifier en conséquence, s'il y a lieu, le coulage à l'éprouvette de l'alcool achevé, de façon à maintenir dans l'accumulateur le degré moyen normal ; on se trouvera ainsi continuellement dans la situation d'un coulage de plein cœur d'une rectification discontinue ;

2° Ce récipient sert aussi à l'extraction des huiles par une prise spéciale ménagée à sa partie supérieure ; dès que ces huiles y sont assez concentrées pour se séparer en globules dans la masse soumise au repos, ces globules se séparent pendant la traversée du récipient accumulateur et se réunissent à sa partie supérieure pour y surnager ; on en règle l'extraction par un petit robinet à cadran et vernier, de façon à maintenir toujours une

couche surnageante suffisante si l'on veut avoir ces huiles isolément.

Des glaces, à hauteur convenable, permettent de voir ce qui se passe à l'intérieur du récipient accumulateur.

Comme il se trouve toujours des produits de queue autres que les huiles susceptibles de surnager, il est ménagé d'autres prises d'extraction pour ces produits de queue intermédiaires sur les plateaux qui correspondent le mieux à leur maximum de concentration. Cette extraction se fait, soit d'une façon continue, soit d'une façon intermittente, de manière à maintenir la colonne en bon état de marche, suivant la nature des flegmes.

En général on obtient, en prenant les vapeurs directement de la distillation des moûts fermentés, de 90 à 92 p. 100 d'alcool rectifié à l'état de bon extra-fin, et de 8 à 10 p. 100 pour l'ensemble des produits de tête et de queue ; cela est obtenu de premier jet et sans aucune reprise.

Ce travail ne donne donc ainsi lieu qu'à une très petite freinte.

575. *Critique de cet appareil par M. Barbet.* — D'après M. Barbet, l'économie qu'on croit réaliser avec cet appareil n'existe pas, car, d'une part, dans la rectification continue des flegmes, on possède, par les eaux résiduaires, un moyen gratuit d'amener les flegmes liquides jusqu'à l'ébullition, tandis qu'en envoyant le flegme en vapeur à l'épurateur, les eaux résiduaires deviennent inutilisées dans les trois quarts des cas. Quant à les rajouter aux vinasses, pour l'échauffement du vin de la colonne dans les cas où l'on peut employer un récupérateur, puisqu'il y a déjà les vinasses du vin, ce supplément, relativement faible, ne peut fournir qu'un supplément de calories peu appréciable.

D'autre part, au bas de l'épurateur B' (fig. 355), on continue à employer de la vapeur de chauffage, tout comme si l'on alimentait avec du flegme liquide.

Reste, dit M. Barbet, le trompe-l'œil de la non condensation des vapeurs de flegmes à la colonne ; il semble que ce soit une faute de condenser tout cela, pour le remettre en vapeur ultérieurement. Mais si la colonne proprement dite A n'a plus de condenseur ni de réfrigérant, il faut transporter ce condenseur et ce réfrigérant, avec toute leur puissance et leur dépense d'eau, au haut de l'épurateur, au lieu des tubulaires de faible puissance qui suffiraient sans cela. On comprend, en effet, qu'au haut de l'épurateur il sortira, sous forme de produits à très haut degré, une quantité énorme de vapeur, contenant, calories pour calories,

toute la chaleur venant de la colonne, plus toute la chaleur donnée au bas de B, (fig. 355) pour achever l'épuration. On est obligé de tout condenser sauf la très minime proportion d'éthers qui va au réfrigérant et à l'éprouvette; c'est donc en somme pour revenir au même que si la colonne était restée isolée.

Que la colonne soit tout à fait indépendante, ou bien qu'elle soit *solidarisée* comme dans la fig. 355 la dépense de vapeur est la même; ce modèle ne peut donc pas donner une sérieuse économie; elle n'existe que pour la vraie rectification continue directe, celle que l'on alimente avec du vin, au lieu d'alimenter avec du flegme.

Dans ce dernier appareil, on n'a que deux dépenses de vapeur: celle de l'épuration des vins qui est minime, et celle de l'épuisement du vin dans la rectification proprement dite, dépense qui suffit à obtenir l'alcool à 96°,5. Tandis que dans les combinaisons de la fig. 355), il y a trois dépenses: 1° à la colonne pour obtenir l'épuisement total du vin; 2° au bas de l'épurateur, dépense moins importante; 3° au bas du rectificateur de flegmes, dépense importante spéciale à la rectification proprement dite.

La chaleur qui sort du haut de la colonne à distiller les vins est suffisante, pour opérer automatiquement la rectification à haut degré, et il est dommage, dit M. Barbet, d'envoyer toute cette vapeur à l'épurateur des têtes qui n'en a que faire.

Supposons du vin à 4 % d'alcool (pour des vins plus pauvres le raisonnement serait vrai à *fortiori*).

Température d'ébullition, 96° 65. Richesse des vapeurs alcooliques 31,25 d'après Sorel, et 39,9 d'après Groening. Prenons une valeur moyenne de 36°.

Chaleur latente de vaporisation du vin à 4° = 325 cal. 5.

100 litres de vin à 4° donnent 11 litres 11 de flegme à 36°.

Convertissons en poids et en alcoométrie pondérale par les calculs :

Le litre de flegme à 36° pèse 0 k. 0957 — $11,11 \times 0,0957 = 10$ k. 63. 36 c. (degrés centésimaux Gay-Lussac) = 30 g. (degrés pondéraux).

Pour que le vin soit épuisé, il faut qu'il sorte du haut de la colonne, par hectol. de vin, au minimum 10 kg. 63 de flegme en vapeur, lesquels contiennent $10,63 \times 525$ cal. 5 = 5586 calories.

Le poids d'alcool à 100° est 10 kg. 63 $\times \frac{30}{100} = 3$ kg. 189.

Nous retrouvons ce même poids au haut de l'appareil sous

forme d'alcool à 96 c. = 94 g., c'est-à-dire $3,189 \times \frac{100}{94} = 3 \text{ k.}$

394 d'alcool à 94 g. Cette vapeur a une chaleur latente de 234 calories et renferme donc $3 \text{ kg. } 394 \times 234 = 793 \text{ cal.}$ 7 seulement.

Or, les vapeurs de la colonne, à elles seules, nous ont apporté 5.586 calories, soit $\frac{5.586}{793,7} = 7,04$, sept fois plus de chaleur.

Cette chaleur se retrouve entière à l'entrée du condenseur et lui permet de faire une abondante rétrogradation. La marche normale de l'appareil s'établira donc en laissant sortir à l'éprouvette 3 kg. 394 d'alcool à 94 g., pour que la sortie de l'alcool balance l'entrée, et en faisant rentrer au bout de l'appareil six fois plus de ce même liquide, puisqu'il en est entré sept volumes en tout dans le condenseur. Le rapport de la rétrogradation au coulage de l'éprouvette sera de $\frac{6}{1}$, c'est-à-dire dans des conditions plus que suffisantes pour produire le maximum de degré alcoolique à la rectification (1).

Ce sont là, dit M. Barbet, les conditions économiques dans lesquelles il faut se placer pour réaliser la rectification à 96°, 5 de l'alcool.

Que va-t-il se passer, si c'est pour l'épuration (en produits de tête) seulement et non pour la rectification qu'on canalise toute cette énorme quantité de calories ?

Là, à l'épurateur, il ne s'agit plus de donner un coulage de 3 kg. 394 d'alcool correspondant à l'épuisement intégral du vin. Il faut, au contraire, ne laisser couler qu'une faible proportion de produits de tête concentrés ; admettons 6 %.

$$3 \text{ kg } 394 \times \frac{6}{100} = 0 \text{ kg. } 2035 \text{ de têtes.}$$

Or, nous venons de voir qu'il entre au condenseur un poids de vapeur égal à sept fois 3 kg. 394, soit 23 kg. 384. Il va donc falloir que sur ces 23 kg. 384 qui entrent, on ne laisse passer à l'éprouvette que 0 kg. 2035, soit moins de 1 %, et que l'on rétrograde *exactement* 99,13 %.

Il y a une disproportion inouïe entre le distillat qu'on récolte et les condensations que l'on est obligé de faire.

(1) Le volume de rétrogradation nécessaire pour arriver à un certain degré à l'éprouvette ne peut se déterminer par le calcul ; il dépend surtout de la puissance d'analyse de la colonne.

Ce reflux excessif va gêner l'expulsion de certains produits de tête à l'épurateur où la concentration deviendra trop grande.

C'est à une trop grande concentration au sommet de l'épurateur de tête que M. Barbet attribue l'insuccès de son premier appareil dit : « Colonne rectificatrice jumelle » (fig. 348). M. Guillaume croit à une autre raison ; il pense (voir plus haut) que les vapeurs des flegmes sont inaptés à parfaire l'épuration ou produits de tête, et son perfectionnement consiste à « ménager au-dessous de l'arrivée des vapeurs alcooliques de distillation un certain nombre de plateaux destinés à parfaire l'épuration « avec de la vapeur vierge ». M. Barbet répond à cela que c'est encore un supplément de vapeur de sorte que la disproportion entre le distillat et la rétrogradation s'accroîtra d'autant. (Juin 1898).

Telles sont les critiques que M. Barbet adresse à l'appareil Guillaume. Mais il est néanmoins d'accord avec M. Guillaume pour conseiller aux industriels qui veulent arriver à tout ce qu'il y a de mieux comme qualité, de monter à part la distillation et à part la rectification continue des flegmes, car il faut éviter tout ce qui peut amener la moindre cause de perturbation et de difficulté, si l'on recherche la perfection.

Avec la rectification continue indépendante, on n'est pas exposé aux arrêts pour manque de vin, aux passages de fonds de cuves, aux obstructions, aux inégalités de degré des flegmes. On peut en effet ramener toujours ceux-ci à un degré invariable quand on fait les deux opérations isolément ; on peut les saturer partiellement, les filtrer sur charbon, etc..., toutes choses qui sont interdites à la rectification directe et qui aident à arriver aux dernières limites de la pureté et de la régularité.

M. Barbet ne considère la rectification directe que comme un instrument de production économique, amplement suffisant pour toutes les marques courantes.

On peut construire de vrais appareils de rectification directe donnant des alcools de marque ; mais alors le prix de l'appareil deviendrait plus élevé et la dépense de combustible arriverait à égaler celle des appareils indépendants.

M. Guillaume, au contraire, préfère la rectification directe telle qu'il la pratique, à la rectification continue des flegmes. La saturation et le traitement chimique s'il y a lieu peuvent, avec son appareil, se faire dans le récipient ou tout accumulateur.

Nous avons vu fonctionner l'appareil de distillation-rectification de M. Guillaume (modèle 1896) avec des mouës provenant de la

fabrique de levure pressée de M. Springer, et nous devons dire que l'alcool était excellent. D'autre part un appareil analogue a été monté dans une distillerie de l'Isère en même temps qu'un rectificateur discontinu très perfectionné, et, si nos renseignements sont exacts, l'alcool du *continu direct* a été trouvé suffisamment bon pour rendre inutile un repassage dans le discontinu.

576. *Rectificateur continu Guillaume*. — Cet appareil repose sur les mêmes principes et comprend à peu près les mêmes organes que l'appareil de distillation-rectification du même inventeur (voir p. 910 et suivantes).

Cet appareil opère sur des flegmes qu'on y introduit à l'état liquide au lieu d'opérer sur les vapeurs sortant d'une colonne à distiller, comme dans l'appareil de distillation-rectification directe de M. Guillaume.

Les flegmes sont reçus dans un réservoir A muni d'un agitateur ayant pour but de régler le degré moyen. Une pompe les refoule dans le réservoir R qui alimente l'appareil d'une façon continue. Le débit est réglé par le robinet v et le régulateur r.

Avant d'entrer dans l'appareil par le tuyau K, ces flegmes peuvent passer dans un récupérateur placé en contre-bas à la sortie des vinasses de la colonne d'épuisement E du rectificateur continu proprement dit.

La colonne B' sert à l'extraction et la colonne B à la concentration des produits de tête. Le condenseur rationnel à double contre-courant o alimente les colonnes B B' de liquide. Par le robinet e on extrait la proportion voulue de produits de tête qui sont refroidis en P et se rendent à l'éprouvette G'.

La colonne à bon goût C reçoit à sa partie inférieure les flegmes privés des têtes. Cette colonne est également surmontée d'un condenseur rationnel à ruissellement. L'alcool extrait de ces flegmes dans la partie inférieure est concentré dans la partie supérieure de la colonne C et sort en e' du condenseur pour se rendre au réfrigérant P et à l'éprouvette G.

H est le récipient accumulateur volant dont nous expliquons l'utilité à propos de la distillation-rectification. Ce récipient sert en même temps pour l'extraction des huiles amyliques ou alcools supérieurs insolubles. Par suite de la lenteur de la circulation des liquides dans ce récipient, les huiles y surnagent et on peut les faire écouler par un robinet. On les reçoit à l'éprouvette J. Les autres produits de queue sont récoltés en I. Le liquide qui

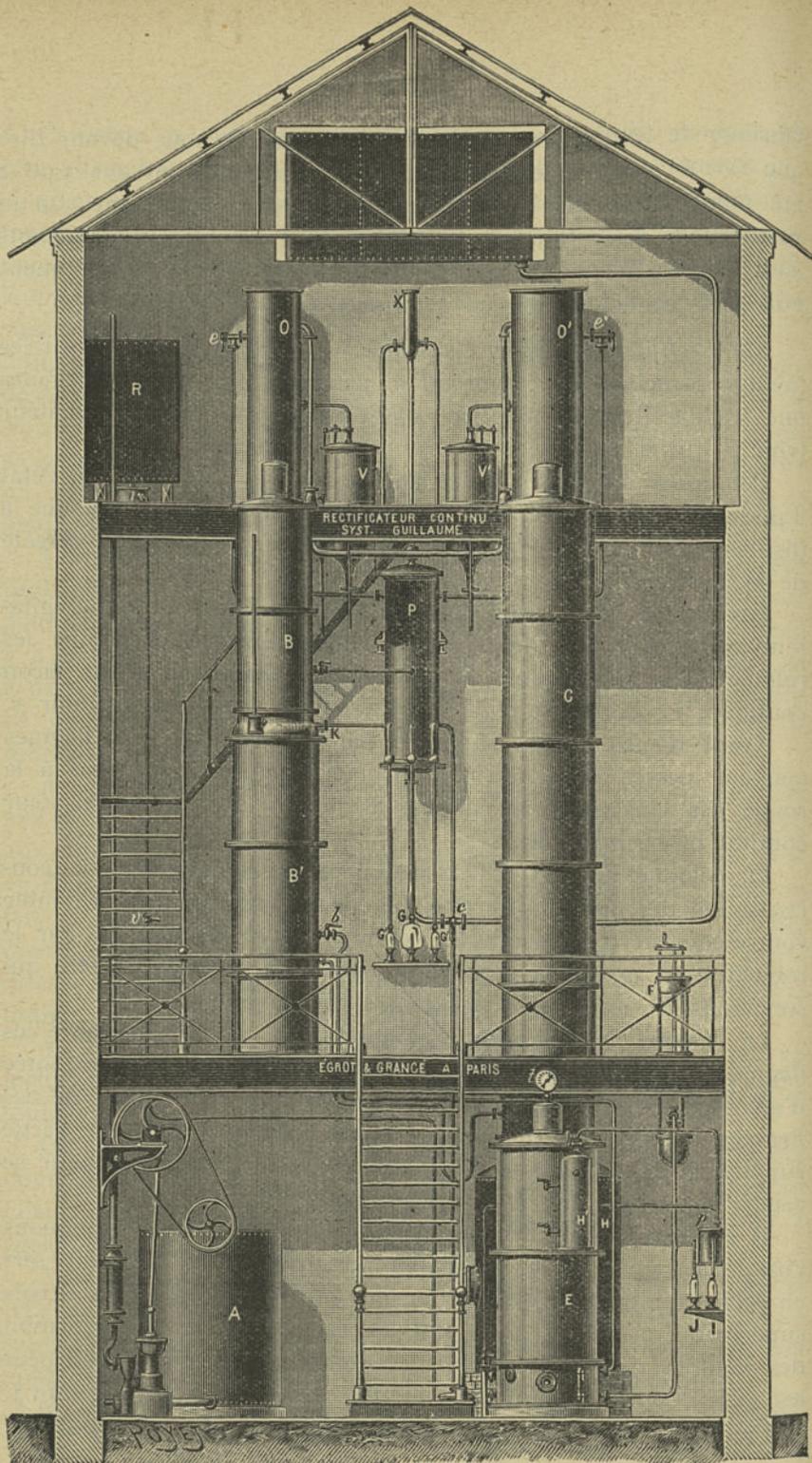


Fig. 356. — Rectificateur continu, système Guillaume (modèle 1896).

a traversé ce récipient traverse ensuite la colonne d'épuisement H, d'où il sort complètement privé d'alcool.

La colonne B' (extraction des produits de tête) reçoit à sa partie inférieure un chauffage direct par le robinet b. La colonne C est chauffée par de la vapeur dont l'admission est réglée par le régulateur F'. Des régulateurs V V' règlent automatiquement l'arrivée de l'eau dans les condenseurs o o'.

577. *Transformation des rectificateurs discontinus en rectificateurs continus système Guillaume.* — M. Guillaume applique son système à la transformation des rectificateurs discontinus déjà installés, de façon à les faire profiter des avantages que présentent les installations nouvelles, tout en utilisant l'ancien matériel.

Nous donnons (fig. 357) un cliché représentant une de ces transformations. L'examen de cette figure montre la chaudière H' d'un appareil à rectifier d'un système quelconque, condenseur et le réfrigérant n'étant pas figurés.

La colonne BB' et la colonne E, ainsi que le tronçon du bas de la colonne de rectification C sont les parties nouvelles que l'on adaptera au rectificateur ordinaire.

Au-dessus de la chaudière existante du discontinu H', on placera un tronçon nouveau C, dont la partie supérieure est composée de plateaux ordinaires. La partie inférieure a une disposition spéciale : les vapeurs alcooliques provenant de la colonne d'épuisement EE (ajoutée) sont introduites par K; m est le trop-plein du plateau immédiatement supérieur et descend jusque près du plateau-plein pris dans le premier joint de la colonne au-dessus de la chaudière, n est une cheminée d'échappement d'air de la chaudière; cette dernière n'est plus chauffée; q est le trop-plein descendant dans la chaudière.

Celle-ci, dont tous les accessoires actuels sont enlevés, sert d'*accumulateur-volant-extracteur d'huiles*; elle remplit l'office du récipient H dont nous avons déjà parlé précédemment pour les installations neuves. Les huiles surnageantes sont extraites par le robinet h et les autres produits de queue sont extraits, quand il en est besoin, par l'un des robinets h₁, h₂.

Sur le côté de la chaudière est placée une colonne ordinaire EE pour l'épuisement continu du liquide rétrogradant de la chaudière par le tuyau plongeur S et le tuyau u; l'eau épuisée sort constamment par Z du soubassement de cette colonne d'épuisement.

Le chauffage de l'ensemble se fait par une introduction de vapeur en x sur le soubassement précité. Un thalpotasimètre t est placé en tête de cette colonne EE pour le contrôle des variations de la richesse alcoolique en ce point, et par conséquent comme « accumulateur-volant ».

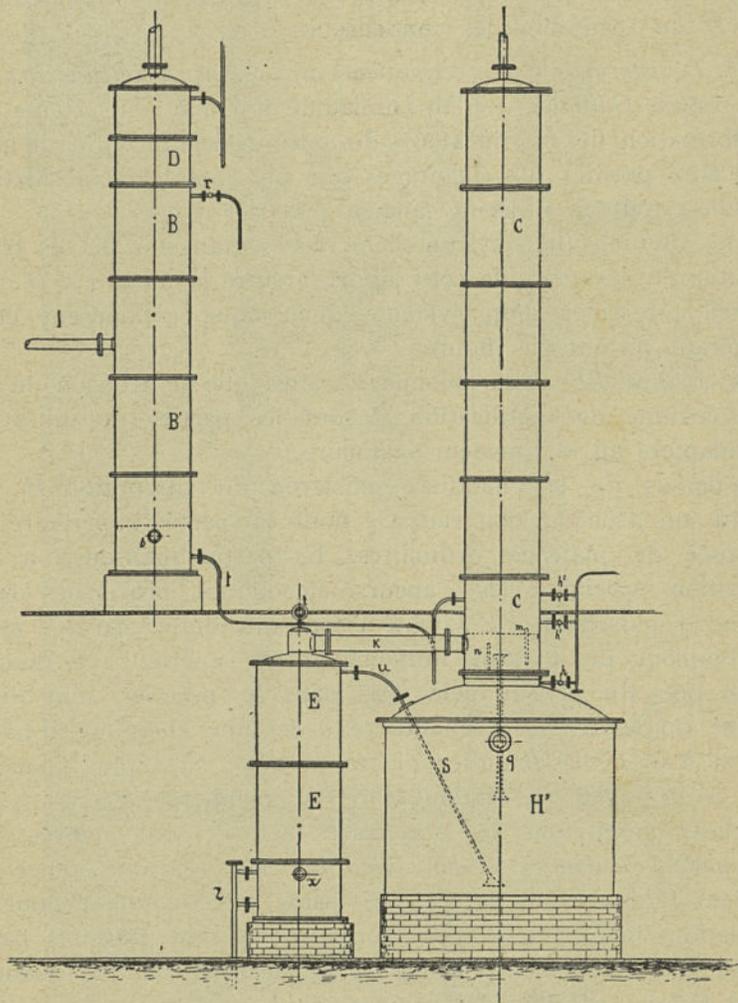


Fig. 357. — Transformation des Rectificateurs discontinus en rectificateurs continus, système Guillaume.

La colonne d'extraction des produits de tête BB' reçoit son alimentation par le tuyau I soit en vapeurs alcooliques provenant directement de la colonne à distiller, soit en flegmes ramenés

au degré convenable, suivant qu'il s'agit d'une rectification après distillation, ou bien d'une simple rectification de flegmes.

La colonne d'extraction des produits de tête contient un *réceptif volant D*, qui reçoit l'alcool rétrogradant au-dessous des quelques plateaux à partir du haut de la colonne et le restitue après emmagasinage au plateau immédiatement inférieur. Ce réceptif remplit le même office que celui qui a été déjà décrit pour la colonne d'extraction de tête employée dans une installation neuve. De même, un robinet d'extraction *r* est placé sur l'un des plateaux supérieurs pour pouvoir faire, en cas de besoin, une extraction de produits de tête particuliers, comme il a été déjà expliqué.

Pour ces transformations, on utilise les condenseur et réfrigérant existants, en y appliquant le régulateur automatique d'alimentation d'eau (fig. 330) et le robinet à ouverture progressive de réglage à la main, pour pouvoir régler à volonté les vapeurs allant du condenseur au réfrigérant et à l'éprouvette bon goût.

Le liquide alcoolique provenant de la colonne d'extraction de produits de tête, et complètement expurgé de ces derniers produits, entre d'une façon continue dans la colonne rectificatrice par la conduite *f*.

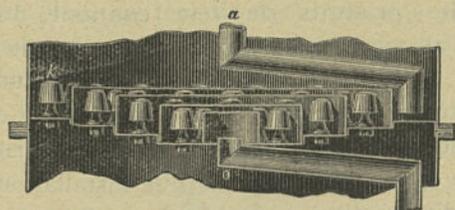
On a ainsi un ensemble de *rectification continue* donnant une sécurité et une stabilité de marche parfaites, avec le minimum possible de surveillance : on n'a pas à craindre que les produits varient de qualité et que l'alcool se perde en partie, par suite d'un manque d'épuisement de la vinasse. La chaudière, transformée en *accumulateur volant*, a une si grande capacité qu'elle peut emmagasiner un très grand excès d'alcool ou le restituer pour une très faible variation de degré, comme il a déjà été expliqué.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur le thalpotasimètre *t* deux ou trois fois par jour pour modifier en conséquence et s'il y a lieu, le coulage à l'éprouvette de l'alcool achevé, et l'on se trouvera continuellement dans la situation d'un *coulage de plein cœur d'une rectification discontinue*.

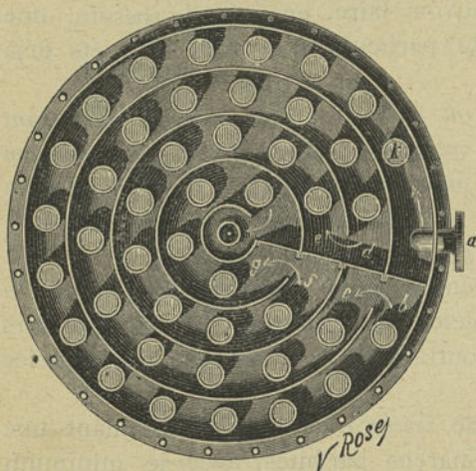
578. Plateau système Guillaume pour colonnes à distiller et à rectifier.

— Ce plateau est un perfectionnement de l'ancien plateau de la maison Egrot. Nous donnerons d'abord la description du plateau Egrot qui est encore fort répandu. Dans ce système les fonds du plateau sont disposés en cascades, et divisés en galeries circulaires concentriques de façon à obtenir une circulation prolongée

et contrariée, laissant le temps au liquide d'échanger des molécules avec celles de la vapeur. Le liquide arrivant d'un plateau



supérieur [par le tuyau *a* (fig. 358), parcourt dans le sens des flèches la galerie extérieure *a b*, rencontre le barrage *b*, parcourt de même la deuxième galerie *c d* en sens inverse, puis *e f*, etc... Arrivé au centre du plateau en *o*, le liquide descend sur le plateau inférieur où il recommence une circulation semblable.



La disposition en cascades permet d'effectuer un aussi long parcours avec une grande régularité de niveau ; enfin le grand nombre de petites calottes *K*, interposées sur le passage du liquide, donnent une grande surface de barbotage.

Fig. 358. — Coupe de l'ancien plateau Egrot.

Dans le système Guillaume, les nombreuses petites calottes du plateau précédent sont remplacées par deux calottes annulaires *A B* (fig. 358) placées au-dessus de nombreuses petites cheminées *DD* (représentées en pointillé dans la vue en plan). Si nous considérons deux plateaux superposés, l'un porte un gros tuyau de trop plein *C* en son centre, tandis que celui placé en dessous en porte quatre de petite section *FF*, placés à la périphérie et coupés en sifflet comme le montre la figure.

Dans ce système de plateau, le moût à distiller circule, alternativement d'un plateau à l'autre, du centre vers la circonférence et de la circonférence vers le centre, en passant *directement* sous les calottes de barbotage.

Il est compréhensible que, diminuant ainsi le chemin à parcourir par le moût sur chaque plateau et augmentant beaucoup la largeur de section de la circulation, la dénivellation entre l'arrivée et le départ est réduite au minimum ; de telle sorte que le niveau

moyen du moult à traverser par la vapeur peut être considéré comme *uniforme* pour tout le plateau. En même temps, comme le jus ne peut parvenir au trop-plein de sortie qu'en passant par

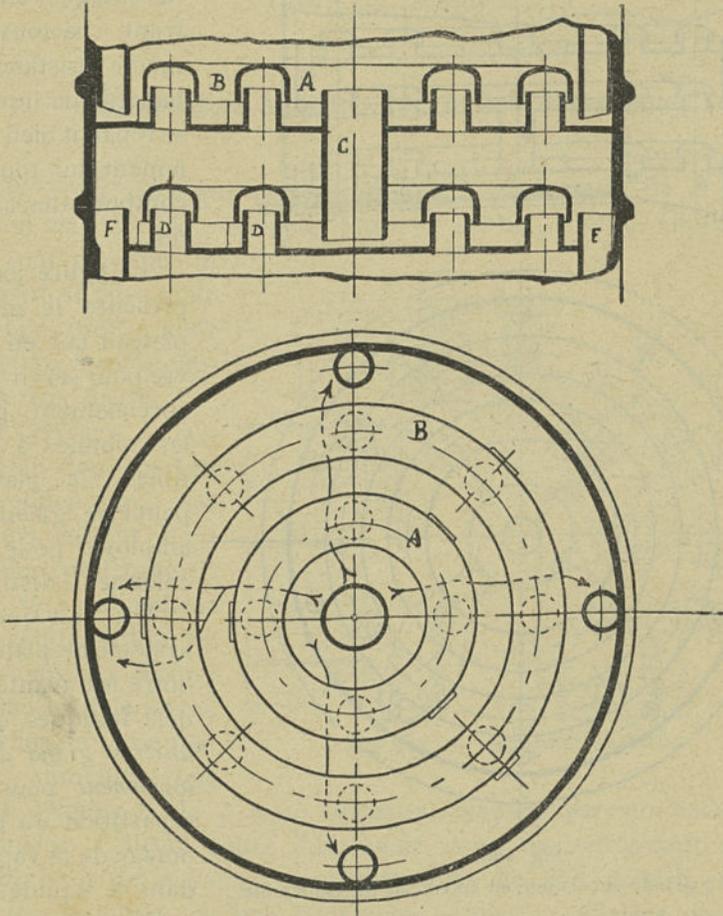
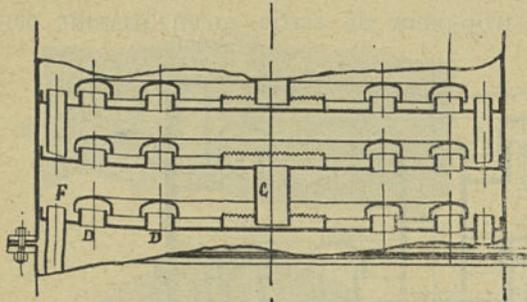


Fig. 359. — Plateau système Guillaume, pour colonnes à distiller et à rectifier.

dessous les calottes, chaque partie de ce jus est soumise directement au contact de la vapeur à chacun des passages sous les bords de ces calottes.

La figure 359 représente des plateaux en fonte dont toutes les parties travaillantes sont dressées; tous les trop-pleins sont bien ainsi strictement à la même hauteur. Les calottes annulaires sont également dressées de façon à avoir tous leurs bords de barbotage sur un même plan horizontal; chacune de ces calottes repose libre-

ment sur trois taquets venus de fonte avec le plateau et également dressés sur un même plan pour un même plateau. On voit ainsi



que la vapeur de barbotage, rencontrant partout la même résistance de hauteur de liquide, se répartit bien également sur tous les contours des calottes.

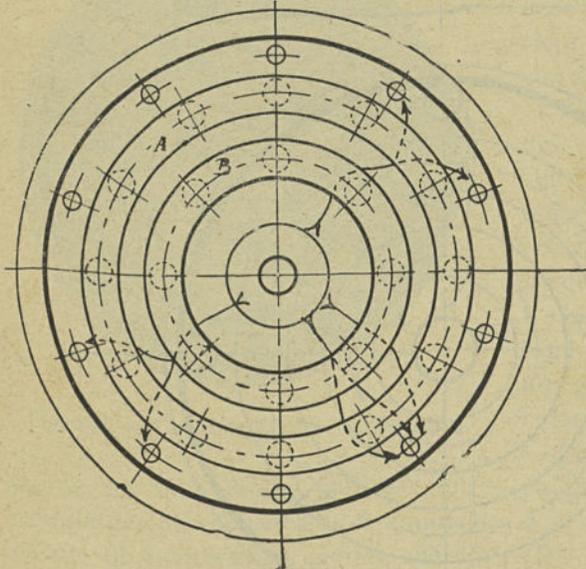


Fig. 360.

Plateau à grande circulation, en cuivre, de M. Guillaume.

La figure 360 représente le même plateau fait en cuivre pour servir plus spécialement pour les colonnes à rectifier. Ce plateau peut être également employé pour les colonnes à distiller.

On voit que ce système de plateau, outre les avantages déjà indiqués, offre un très grand développement pour la répartition du barbotage de la vapeur dans le liquide, et qu'ainsi le passage

de la vapeur est plus régulier et mieux réparti, et qu'il produit une émulsion moins tumultueuse. *Il est donc plus efficace que les plateaux ordinaires.*

Dans celui-ci on a encore augmenté le nombre des trop-pleins et de cheminées. Pour que le liquide étalé sur le plateau du milieu s'achemine en tous les points du plateau avec la même vitesse vers le trop-plein G, celui-ci est entouré d'une galerie dentelée. Le liquide descendant de G doit de même passer au-dessus d'une galerie dentelée pour gagner le trop-plein F en passant à travers les cheminées DD.

Le Gérant : F. VERBIÈSE.

CHAPITRE XXXIII

Épuration à haut degré des alcools

579. Tous ceux qui se sont sérieusement occupés de la rectification des alcools : Savalle, Savary, Barbet, Sorel, Guillaume, etc., ont reconnu la nécessité de faire subir une épuration à haut degré aux alcools épurés à bas degré.

M. Savary partageait en deux parties le condenseur ; les vapeurs sortant d'un premier condenseur C (fig. 361) subissaient une condensation totale dans un second C' placé sur le même plancher, et le liquide allait alimenter une

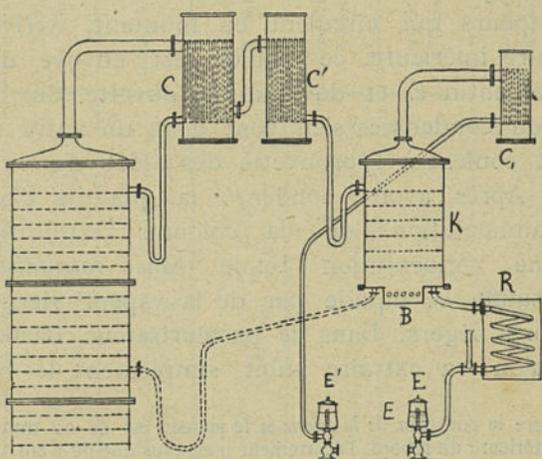


Fig. 361. — Séparateur Savary.

petite colonne K de 5 à 10 plateaux chauffée par un barbotage de vapeur. L'alcool épuré descendait dans un réfrigérant à serpentin R et de là coulait à l'éprouvette de bon goût E, tandis que les produits de tête (aldéhydes, éthers...) allaient dans un condenseur tubulaire C₁ pour se rendre ensuite à l'éprouvette spéciale des têtes E' (2).

Un régulateur différentiel réglait la marche des condenseurs.

Cet appareil a figuré à l'exposition de 1878 (médaille de bronze) et il fonctionne à la distillerie de Nesle (Somme) depuis plus de 15 ans.

M. Barbet extrait l'alcool marchand au 3^e plateau situé en

(1) Toute reproduction, même partielle, est formellement interdite.

(2) En 1885, M. Savary a fait breveter un système de plateau composé d'un disque à rebord *aa* de peu de largeur et d'une calotte *b* sur laquelle est fixé un disque annulaire *cc* parallèle au plateau ou légèrement incliné ; dans ce dernier cas, l'écartement

dessous de la rétrogradation. Le condenseur est également partagé en deux parties et un régulateur dit de *réglage invariable du coulage* (p. 875) renvoie dans la colonne le fluide condensé dans la deuxième partie du condenseur. On extrait de celle-ci une quantité déterminée de liquide qui constitue les produits de tête.

M. Pampe pratique l'épuration finale par son *séparateur d'aldéhyde*. Le condenseur est encore partagé en deux parties : le condenseur proprement dit et le séparateur. Chacun d'eux est à contre-courants. Les vapeurs sortant au haut du condenseur-flegmateur C (fig. 338), entrent dans le bas du séparateur D', le liquide condensé sur les tubes descend et subit l'action des vapeurs qui circulent en montant. Arrivé sur la plaque tubulaire inférieure, ce liquide est envoyé dans un réfrigérant à serpentin E et de là à l'éprouvette du bon goût. Les vapeurs non condensées s'en vont dans un autre réfrigérant à serpentin et coulent à l'éprouvette des aldéhydes.

Après avoir condensé la quantité d'alcool nécessaire pour l'alimentation de la colonne rectificatrice, M. Savary fait une condensation totale *sans refroidissement*, dit-il, puis chauffe ce liquide par de la vapeur vierge pour en séparer les corps légers. Dans le pasteurisateur Barbet, l'alcool bon goût qu'on va extraire subit simplement le barbotage des vapeurs

entre le pourtour de la calotte et le plateau est de 20 mm., tandis qu'à la circonférence extérieure du rebord, l'écartement n'est plus que de 1 cm.

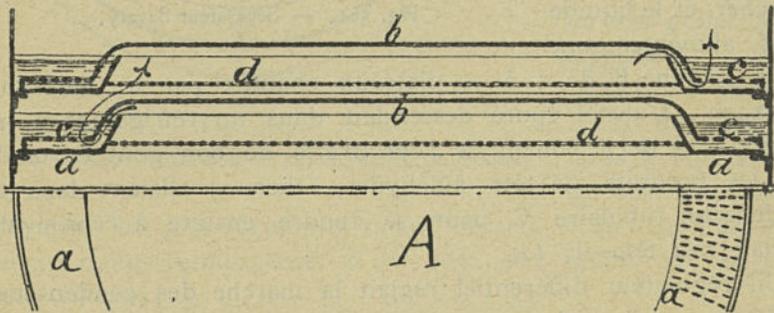


Fig. 362. — Plateau Savary.

▣ Ce disque est percé d'une infinité de trous ayant de 1 à 2 mm. de largeur sur 10 à 40 mm. de longueur, dans lesquels la vapeur est laminée, ce qui donne de grandes surfaces de contact. On peut remplacer ce disque perforé par une toile métallique à mailles serrées ce qui augmente encore la division.

Pour éviter les entraînements de liquide, on place au besoin en *d*, une toile métallique. — La vapeur alcoolique suit la marche des flèches. Le liquide baigne les disques.

M. Savary n'est pas partisan des calottes-peignes dans lesquelles la vapeur passe par grosses bulles à la partie supérieure des entailles, sans se diviser dans le liquide. Il trouve qu'il n'y a là aucun perfectionnement par rapport aux calottes dentelées.

alcooliques des plateaux inférieurs. D'après M. Barbet cela n'a aucun inconvénient, les corps légers (produits de tête), qu'il s'agit d'enlever ne pouvant se dissoudre dans le liquide en *ébullition*. Nous savons que, contrairement à ce qu'admet M. Barbet, le

TABLE DES COEFFICIENTS D'ENTRAINABILITÉ DE M. SOREL

Degrés Gay-Lussac de l'alcool employé	Corps ajoutés							
	Alcool amylique de fermentation	Formiate d'éthyle	Acétate de méthyle	Acétate d'éthyle	Isobutiriate d'éthyle	Isovalérate d'éthyle	Acétate d'isoamyne	Isovalérate d'isoamyne
95	0,23	5,1	3,8	2,1	0,95	0,8	0,55	0,30
90	0,30	5,8	4,1	2,4	1,1	0,9	0,6	0,35
85	0,32	6,5	4,3	2,7	1,2	1,1	0,7	0,40
80	0,34	7,2	4,6	2,9	1,4	1,3	0,8	0,50
75	0,44	7,8	5,0	3,2	1,8	1,5	0,9	0,65
70	0,54	8,5	5,4	3,6	2,3	1,7	1,1	0,85
65	0,65	9,4	5,9	3,9	2,9	1,9	1,4	1,05
60	0,80	10,4	6,4	4,3	4,2	2,3	1,7	1,30
55	0,98	12,0	7,0	4,9			2,2	
50	1,20		7,9	5,8			2,8	
45	1,50		9,0	7,1			3,5	
40	1,92		10,5	8,6				
35	2,45		12,5	10,5				
30	3,00			12,6				
25	5,55			15,2				
20				18,0				
15				21,5				
10				29,0				
Température d'ébullition du corps ajouté	132	54,3	56	77,1	110,1	134,3	137,6	196

liquide ne peut être en ébullition. Il est possible que le liquide soit à une température trop élevée pour que ces produits se dissolvent, mais il y en a d'autres, dont le coefficient d'épuration est moins élevé et qui peuvent se dissoudre. M. Barbet a peut-être

tort de prélever son alcool marchand en avant du condenseur, d'autant plus que la séparation des produits de queue est forcément toujours imparfaite. M. Barbet dit que l'effet analytique du condenseur ne se produit que pour les queues, même avec un condenseur irrationnel. Les produits de queue ramenés par le condenseur doivent évidemment souiller l'alcool extrait quelques plateaux plus bas.

Quant à l'enlèvement des produits de tête, le principe sur lequel se base M. Barbet est également très contestable, en raison de la solubilité des produits de tête dans l'alcool. En raison de cette solubilité, si des vapeurs chargées de ces produits traversent un liquide alcoolique dans le voisinage de l'ébullition, ce liquide retiendra une partie de ces impuretés, malgré les différences des températures d'ébullition entre l'alcool éthylique et ces impuretés.

L'alcool qui rétrograde du condenseur sur les plateaux est impur ; il descend de plateau en plateau ne rencontrant pour l'épurer que des vapeurs de barbotage chargées elles-mêmes dès l'origine de la même nature d'impuretés. Ces vapeurs impures ne peuvent donc purifier entièrement le liquide alcoolique chargé des mêmes impuretés.

Théoriquement, c'est aussi impossible que de distiller des vins et de les épuiser complètement d'alcool, par des vapeurs ayant la même richesse alcoolique que ces vins dès l'introduction de ces vapeurs de barbotage dans le soubassement de la colonne à distiller. On peut même dire que l'impossibilité est encore plus grande.

En effet, la valeur du coefficient de concentration de l'alcool éthylique par rapport à l'eau, pour l'ébullition du vin à bas degré, est bien plus élevée que celle de ce même coefficient dans un liquide alcoolique au voisinage de l'ébullition et à la richesse de 96-97° rapportée à l'acétate d'éthyle, par exemple (qui est un produit de tête par rapport à l'alcool éthylique).

Dans un vin à bas degré, on peut évaluer la valeur de C (valeur de K pour l'alcool, par rapport à l'eau), comme étant égale à 10 (1) ; de telle sorte qu'en désignant par A la richesse alcoolique initiale du vin, la *limite extrême* de l'épuisement possible à faire au moyen de vapeurs ayant dès l'origine une même richesse alcoolique serait de $\frac{a \times 1}{K} = \frac{a}{10}$; c'est-à-dire

(1) Voir pages 780 et 781. Pour 1 p. 100 d'alcool, M. Sorel a trouvé $K = 9,90$.

que les vinasses rejetées contiendraient encore $\frac{1}{10}$ de l'alcool contenu dans les vins (1).

Si nous considérons maintenant l'effet de la « pasteurisation » sur l'acétate d'éthyle, pris précédemment comme exemple des produits de tête à éliminer, nous voyons que pour un liquide alcoolique d'une richesse de 96° au moins (qui est celle à considérer pour cette opération), le coefficient K concernant l'acétate d'éthyle par rapport à l'alcool éthylique n'est plus que de 2 environ. Donc, pour une quantité initiale a de cette impureté dans l'alcool (et par conséquent dans les vapeurs ascendantes), l'alcool pasteurisé aura comme limite extrême à son épuration

$$\frac{a \times 1}{K} = \frac{a}{2}.$$

C'est-à-dire qu'à l'extrême limite de l'efficacité possible, l'alcool pasteurisé contiendra encore la moitié de l'acétate d'éthyle que contiendrait l'alcool non pasteurisé, au cas où l'on ne pasteuriserait pas.

Pour le formiate d'éthyle, autre produit de tête, K est égal à 5 environ dans un liquide alcoolique de même richesse que ci-dessus, et pour l'acétate de méthyle, ce même coefficient est d'environ 3,6.

D'après M. Barbet, M. Guillaume a raison de dire qu'on ne peut épuiser un liquide alcoolique en faisant barboter dans ce liquide une vapeur provenant d'un liquide alcoolique identique; mais ici nous n'avons affaire qu'à un mélange binaire dans lequel le corps le plus volatil est en proportion suffisante pour changer le point d'ébullition, tandis que dans le mélange au moins ternaire qu'il s'agit d'épurer, les impuretés aldéhydiques ne constituent qu'un prorata presque infinitésimal et ne peuvent influencer la température du mélange, laquelle se trouve fonction exclusive du degré alcoolique. C'est l'eau et l'alcool qui forment le mélange principal; les traces d'aldéhyde ont une influence nulle sur l'ensemble au point de vue de l'ébullition. La vapeur qui barbote dans les plateaux pasteurisateurs, quoique contenant elle-même un petit prorata d'aldéhyde, arrive, d'après M. Barbet, à épuiser totalement le liquide de ses traces d'aldéhydes, tout simplement parce que la vapeur qui barbote est à bien plus haute température que le point d'ébullition de l'aldéhyde dissoute

(1) L'épuisement s'arrête évidemment quand le liquide s'est appauvri au point de ne plus pouvoir émettre qu'une vapeur ayant la richesse alcoolique de la vapeur servant à l'épuisement.

dans le liquide. Le corps moins volatil déplace le corps le plus volatil, mais la réciproque est impossible.

Cette démonstration de M. Barbet étant basée sur l'ancienne théorie de l'élimination des produits suivant l'ordre de leur volatilité, nous ne nous y arrêterons pas, d'autant plus que nous sommes arrivé à la conclusion qu'il n'y a pas d'ébullition dans le haut des colonnes.

Relativement à la démonstration de M. Guillaume étayée sur les expériences de M. Sorel avec des mélanges ternaires, M. Barbet reconnaît que ces mélanges ternaires ont manifesté des lois fixes pour leur purification, mais M. Sorel a opéré en faisant bouillir le mélange dans un alambic (p. 778) et il croit que cette ébullition, provenant d'un chauffage par surface, c'est-à-dire à travers la paroi de l'alambic, ne doit pas donner les mêmes résultats qu'un barbotage de vapeur, ni surtout que l'émulsion intime et intensive fournie par les plateaux perforés ou par les calottes dentelées d'un rectificateur. C'est l'expérimentation chimique, et en particulier l'essai rapide des alcools au permanganate, qui a révélé à M. Barbet le phénomène étrange de la pasteurisation. Personne n'en a été plus surpris que lui, et c'est devant l'évidence d'analyses répétées à satiété et toutes concordantes, qu'il a bien dû accepter le fait de l'auto-purification de l'alcool par des vapeurs moins pures que lui (*en produits de tête seulement*; la pasteurisation n'ayant d'efficacité que pour les têtes et jamais pour les queues).

Dans une de ces expériences, l'auto-purification a réussi à donner 60 fois plus de pureté que n'en possède la vapeur purifiante! C'est extraordinaire, inexplicable et contraire à des expériences faites *in vitro*, dit M. Barbet, mais cela existe ainsi, et c'est ce qu'il avait fait ressortir dès 1886.

M. Barbet dit qu'il a principalement fait de la pasteurisation une purification *complémentaire* et *finale*, s'adressant, non pas au produit brut, mais à l'alcool ayant déjà subi l'action très efficace de l'épurateur continu. La Pasteurisation réalise le desideratum formulé en 1891 par M. Sorel « utiliser la variabilité de K selon les concentrations de l'alcool en complétant l'épuration à bas degré par une épuration à haut degré ». En outre elle a encore un autre rôle, celui de sélectionner les quelques impuretés qui se forment dans le rectificateur même par suite des réactions réciproques des corps acides et ammoniacaux existant dans le flegme, même après épuration.

Emerveillé par la puissance d'épuration, en même temps que par la simplicité d'application de sa pasteurisation, M. Barbet a un moment espéré, dit-il, qu'elle pouvait lui permettre de faire l'économie de l'épuration continue ; mais il a reconnu qu'en aucun cas elle ne permettait d'arriver à la neutralité d'odeur, et qu'il était indispensable de lui adjoindre une épuration continue à bas degré.

M. Barbet a tâché de modifier la colonne rectificatrice simple, dans le but d'obtenir des têtes plus concentrées et un pasteurisé mieux épuré. Dans l'appareil monté à Clastres (fig. 363) il a ajouté un concentrateur d'éthers. La vapeur sortant du condenseur se rend au bas d'un petit tronçon D' muni de 5 plateaux, lequel est suspendu au dessous du condenseur-réfrigérant en 2 parties EF — E est le condenseur proprement dit dont la rétrogradation rentre sur le plateau supérieur de D'. Quant au réfrigérant F, superposé lui aussi aux plateaux D', il permet de réaliser le système de réglage invariable du coulage des têtes. Celles-ci, à leur arrivée à l'éprouvette K, sont réglées invariablement au taux que l'on désire par un robinet 5. Tout l'excédent, passant par un tuyau m n, se réunit au gros de la rétrogradation de E.

Si l'ensemble de cette rétrogradation, à peu près pareille au liquide de l'éprouvette, a une impureté 20 a, correspondant à 5 % d'extraction, il ne lui est pas difficile, en 5 plateaux, de redescendre tout au moins au taux a, qui est celui de la vapeur arrivant par le tuyau 4, c'est-à-dire la parité avec le flegme de la colonne B, dans laquelle on peut par conséquent la faire rentrer, sans risquer de péjorer les conditions de production du pasteurisé.

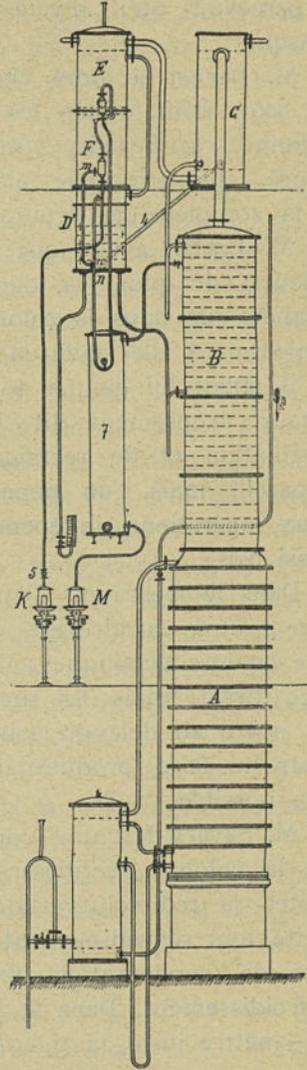


Fig. 363.
Appareil de Clastres.

D'après M. Barbet, l'alcool pasteurisé fourni par cette colonne est d'une très grande pureté chimique, malheureusement il conserve des traces d'odeur d'origine, traces d'autant plus faciles à percevoir qu'il n'y a plus d'impuretés éthériques pour les masquer.

M. Barbet a alors cherché un type intermédiaire (fig. 348, p. 896). Pour éviter les traces d'odeur d'origine que laisse la colonne rectificatrice simple, il a recours à l'épuration à bas degré, qui triomphe aisément de cette sorte d'impuretés, puis il la complète par l'épuration à haut degré dans une 2^e colonne.

M. Barbet avoue que l'alcool laissait encore à désirer comme odeur ; de plus, la dépense de vapeur était beaucoup plus grande que dans la colonne simple, car la colonne d'épuisement dépensait à elle seule la même chose que l'ancien type simple, et il fallait lui ajouter toute la vapeur nécessitée par le rectificateur proprement dit. En un mot, les deux opérations de distillation et de rectification, restaient solidarisées en un seul appareil, mais l'on dépensait autant de vapeur que pour les deux opérations indépendantes et sans atteindre à un alcool aussi bon.

Dans le séparateur Pampe (fig. 338), le réchauffage de l'alcool bon goût à extraire est, comme dans celui de Barbet, fait par des vapeurs alcooliques ; il est donc moins énergique que le chauffage direct, mais les surfaces de contact sont très grandes et on opère au delà du condenseur ; celui-ci est en outre disposé pour lui faire produire une action déflegmatrice aussi grande que possible.

M. Savary fait une condensation totale des vapeurs au sortir de la colonne rectificatrice ; M. Pampe, au contraire, cherche à éviter la redissolution des produits de tête : non seulement il évite tout refroidissement de la partie condensée, mais il ne fait pas de condensation totale qu'il est impossible de faire sans refroidissement. Dans le séparateur Savary, il doit être difficile de mettre juste la quantité d'eau nécessaire dans le condenseur pour tout condenser sans en mettre en excès. Dans le séparateur Pampe, si on met trop d'eau le coulage cesse, ce qu'il est facile d'éviter.

Dans le séparateur Barbet comme dans celui de Pampe, il n'y a pas de chauffage spécial pour l'épuration supplémentaire à haut degré ; c'est donc une dépense moindre et cela de moins à régler, mais l'effet doit aussi être moins énergique.

M. Guillaume a récemment combiné un *épuration final* à haut degré opérant également par chauffage direct au moyen d'un serpentín alimenté par de la vapeur directe. M. Guillaume a remarqué, comme Robert Ilgès, qu'il se forme des aldéhydes et des éthers en cours de marche dans les appareils à rectifier continus ou discontinus. Son *épuration final* a pour but la séparation de ces aldéhydes et éthers ainsi que de tous les produits qui se comportent comme des produits de tête dans l'alcool à haut degré. Ce procédé complémentaire augmente beaucoup, d'après l'inventeur, la neutralité de l'alcool rectifié.

Partant de ce principe que dans l'alcool à haut degré, les puretés de tête sont à l'alcool éthylique, ce que ce dernier est par rapport à l'eau dans les vins, M. Guillaume fait une véritable distillation méthodique de ces produits de tête dans l'alcool à haut degré (provenant du condenseur ou du sommet de la colonne à rectifier), distillation qu'il opère dans une colonne à distiller continue dont le fonctionnement est en tout semblable à celui d'une colonne ordinaire à distiller les vins et d'importance appropriée, bien entendu (de diamètre convenable). De même que pour la distillation des vins on peut faire des flegmes plus ou moins concentrés par l'adjonction d'un nombre plus ou moins grand de plateaux, au-dessus du point où se fait l'alimentation du vin, la colonne à distiller les produits de tête de M. Guillaume permet de concentrer plus ou moins les produits de tête (provenant de cette distillation), en y ajoutant un nombre plus ou moins grand de plateaux de concentration au dessus du point où se fait l'arrivée dans la colonne de l'alcool à haut degré à distiller, comme il vient d'être dit.

On comprend facilement que par une telle opération les produits de tête peuvent être éliminés d'une façon aussi complète qu'il est possible d'éliminer l'alcool des vinasses par la distillation ordinaire.

M. Guillaume complète cette épuration au point de vue des produits de tête, ceci aussi bien pour la distillation rectification directe que pour la rectification continue ou pour la rectification discontinue ordinaire, par la disposition suivante :

Les vapeurs alcooliques qui sortent du condenseur du rectificateur ne vont plus directement au réfrigérant et à l'éprouvette ; elles se rendent dans la colonne complémentaire RS (fig. 364) par la conduite A ; elles s'élèvent dans le tronçon R jusqu'au condenseur H de cette colonne complémentaire, en barbotant

méthodiquement sur chaque plateau (a) dans le liquide qui redescend de ce condenseur H.

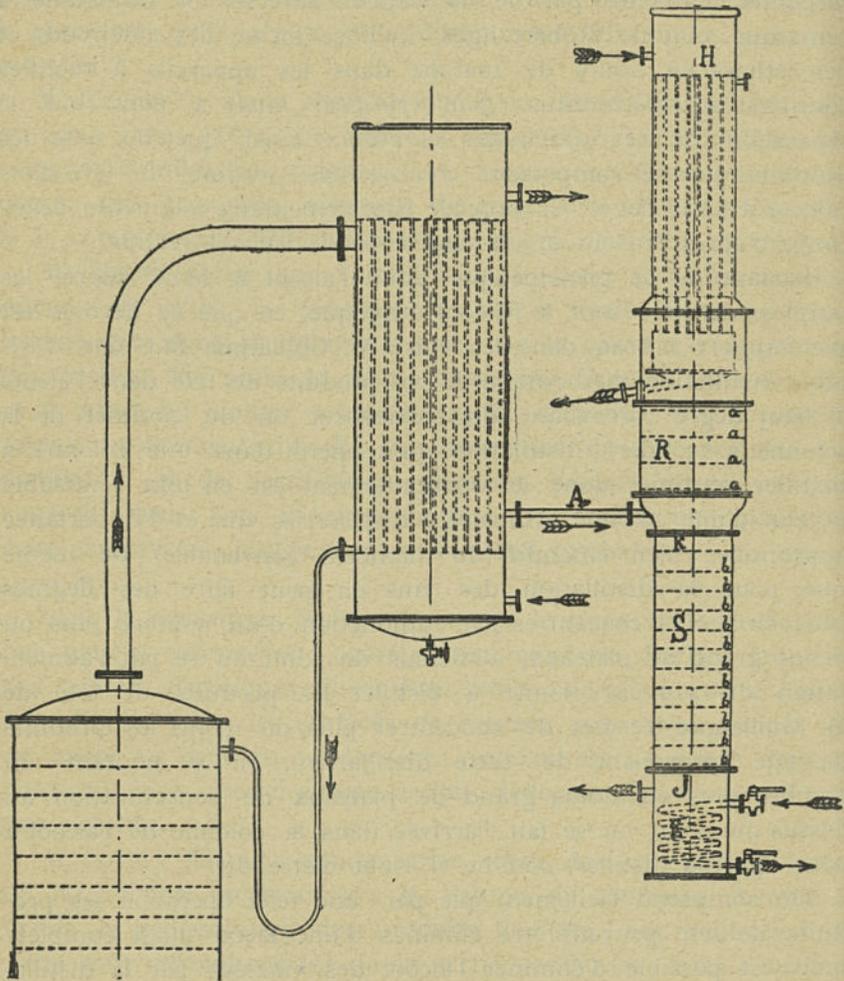


Fig. 364. — Epuration finale des alcools à haut degré, système Guillaume.
Application à un rectificateur discontinu au-delà du condenseur.

Cet alcool liquide descendant parvient sur le plateau d'alimentation K, puis, de plateau en plateau, dans le tronçon S jusqu'à sa chute finale dans le tronçon formant soubassement J. Ce dernier est muni d'un serpentin E ou faisceau tubulaire de chauffe et forme ainsi chaudière. Les vapeurs alcooliques émises par l'alcool bouillant dans le soubassement J, s'élèvent de plateau (b) en plateau (b) inversement à la marche du liquide descendant; elles

traversent ainsi méthodiquement ces derniers, absolument comme dans une colonne à distiller ordinaire.

Parvenues à la hauteur de K, ces vapeurs de distillation se mélangent avec les vapeurs alcooliques nouvelles qui arrivent du condenseur du rectificateur. Les produits de tête sont donc distillés, et cela *aussi parfaitement qu'on le voudra*, dans le tronçon S et leur concentration s'opère dans le tronçon supérieur R.

On extrait du condenseur H ou du réfrigérant qui lui fait suite, soit 1, 2 ou 3, etc., p. 100 de ces produits de tête, la proportion de cette extraction étant réglée pour qu'il n'en reste pas trace dans l'alcool neutre allant à l'éprouvette. Quant à l'alcool parvenu dans le soubassement J, il est épuisé des produits de tête comme la vinasse est épuisée d'alcool dans le bas d'une colonne à distiller le vin. S'il est déjà débarrassé des produits de queue en sortant du rectificateur, il en résulte bien qu'il est dès lors complètement *neutre*. (Il faudrait qu'il existât une impureté sosie de l'alcool éthylique pour qu'elle pût demeurer avec lui après cette opération complémentaire). Cet alcool neutre sort au fur et à mesure du soubassement pour aller au réfrigérant, puis à l'éprouvette du bon goût achevé.

Voyons de combien cette opération a pu faire baisser le degré de l'alcool achevé :

Dans une colonne à rectifier, on peut dire qu'une richesse réelle de 97 % G. L. à 15° de température est, en quelque sorte, une asymptote pour la concentration qu'il soit possible d'atteindre ; on peut donc considérer que 96°9 G. L. est une limite quasi infranchissable sur les plateaux d'une colonne à rectifier.

Or, admettons que l'alcool sortant du condenseur du rectificateur, pour venir à la colonne d'épuration finale, ait 96°7 G. L. et qu'on en tire 5 % en tête de cette colonne finale, le reste, soit 95 %, allant après épuration à l'éprouvette du bon goût achevé. L'alcool de tête extrait aura au maximum 96°9 d'après ce que nous venons de voir ; admettons ce dernier chiffre et faisons le décompte de l'entrée et des sorties, ce qui est facile puisque l'opération n'ajoute pas d'eau dans l'alcool :

Entrée: 100 litres à 96°7 représentant 9.670 deg.-lit.		
Sorties: 1° en tête: 5 litres à 96°9		
représentant		484 deg. lit.5
2° au soubassement: 95 lit.		
à x°.		9.185 » 5
Totaux égaux		9.670 deg.-lit. 9.670 deg.-lit.

Le degré exact de l'alcool achevé sortant du soubassement J est donc $\frac{9.185 \text{ deg.} - 1.5}{95} = 96.6893$, autant dire encore 96.7 comme on le voit.

Il est utile d'insister sur ce point, parce qu'il est essentiel qu'il en soit ainsi.

En effet, si le degré baissait sensiblement, il faudrait, en raison des exigences commerciales, relever ensuite le degré en repassant de nouveau l'alcool dans une colonne complète de laquelle il devrait sortir en tête ; et, comme des produits de tête pourraient se former à nouveau pendant cette nouvelle opéra-

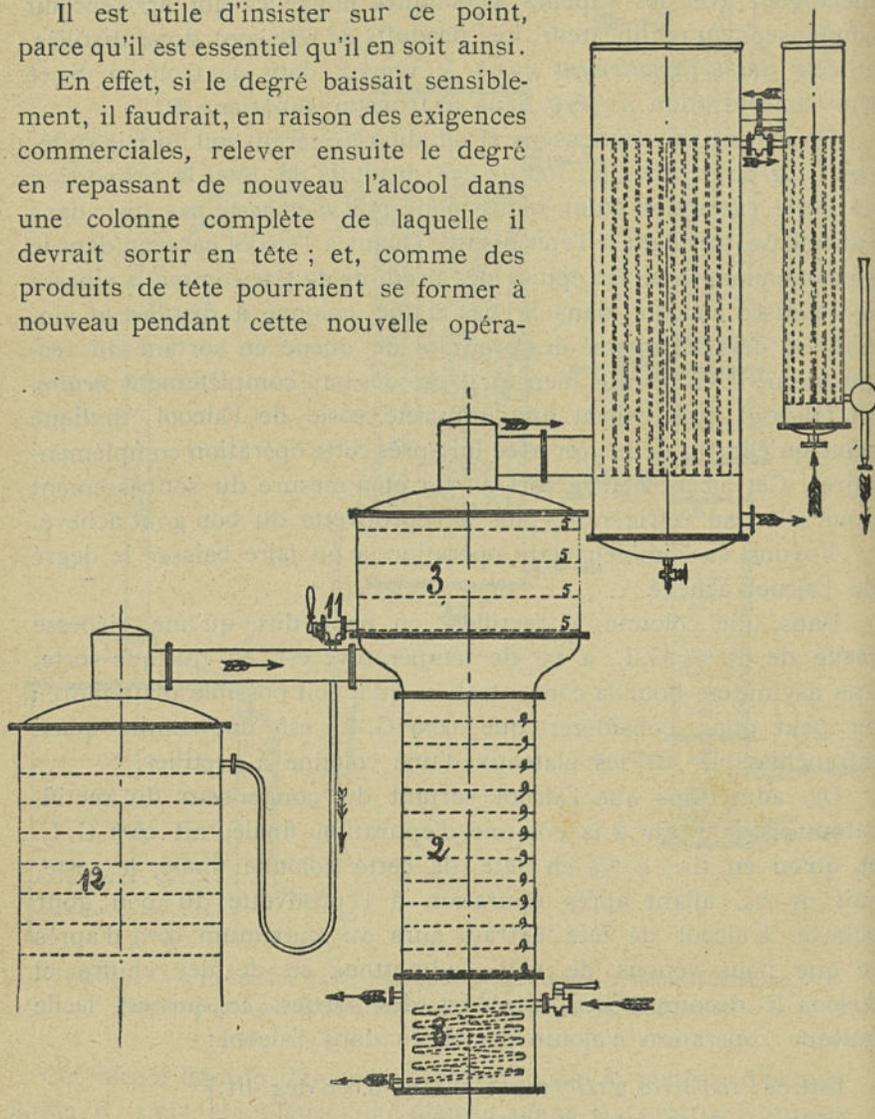


Fig. 365. — Epuration finale des alcools à haut degré, système Guillaume.
Application à un rectificateur discontinu en deçà du condenseur.

tion, on tournerait ainsi dans un cercle vicieux. C'est pourquoi il importe que ce procédé d'épuration soit bien une *opération finale*.

Pour son application, les dispositions de l'appareil peuvent varier suivant les cas.

Ainsi, l'alcool à repasser peut être pris à l'état liquide, soit au bas du condenseur, soit au haut du rectificateur, au lieu de le prendre à l'état de vapeur (dans ce dernier cas le tronçon R n'a plus de raison d'avoir une section plus grande que celle du tronçon S) ; on peut encore n'avoir que le tronçon de distillation des produits de tête S sans le tronçon R, auquel cas l'alcool extrait en tête en plus grande quantité pourrait donner un alcool fin alors que l'alcool du soubassement serait neutre.

De même, on peut également prendre toutes les vapeurs alcooliques au haut de la colonne à rectifier 12 (fig. 365) pour les envoyer à la colonne d'épuration (8, 2, 3) sans passer par un condenseur intermédiaire. Dans ce cas, un prélèvement d'alcool liquide est fait au plateau inférieur du tronçon de concentration des produits de tête pour établir la rétrogradation nécessaire au maintien du haut degré alcoolique dans la colonne de rectification ; ce n'est donc alors que le surplus de cette rétrogradation nécessaire qui entre dans le tronçon de distillation proprement dite.

Enfin, l'alcool à épurer par la colonne S (fig. 366) peut même être pris à l'un des plateaux supérieurs du rectificateur, auquel cas les vapeurs provenant de la distillation dans la colonne S peuvent soit aller à leur condenseur, soit rentrer au haut du rectificateur, au-dessus du plateau où se fait la prise d'alcool à épurer.

Le chauffage du serpentin ou de la chambre tubulaire dans le soubassement J est fait soit avec de la vapeur détendue, soit avec de l'eau chaude (il peut même être fait avec un liquide alcoolique moins concentré que celui à épurer — et, par conséquent, bouillant à plus haute température — prélevé sur la colonne

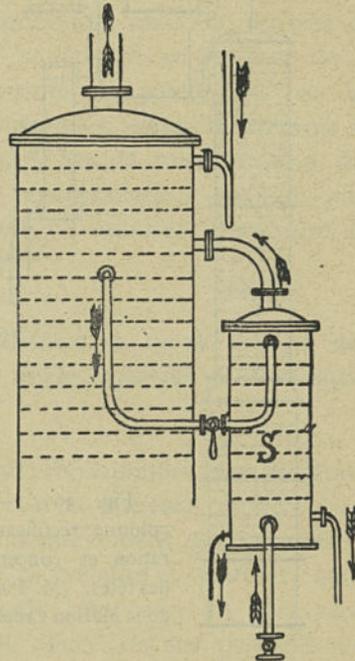


Fig. 366. — Epuration finale à haut degré de M. Guillaume. — Alcool à épurer prélevé sur un plateau, chauffage par surface.

même du rectificateur et y₁ retournant ensuite, ou bien encore avec des vapeurs alcooliques prélevées de même). En pratique, ce chauffage se fait le plus souvent avec de la vapeur, prélevée

sur le soubassement de la colonne principale s'il s'agit de distillation-rectification directe ou de rectification continue, ou bien prélevée sur la chaudière du rectificateur s'il s'agit de rectification discontinue ordinaire ; dans ce cas, la condensation de la vapeur alcoolique prélevée retourne soit à la chaudière, soit à l'un des premiers plateaux situés au-dessus de celle-ci.

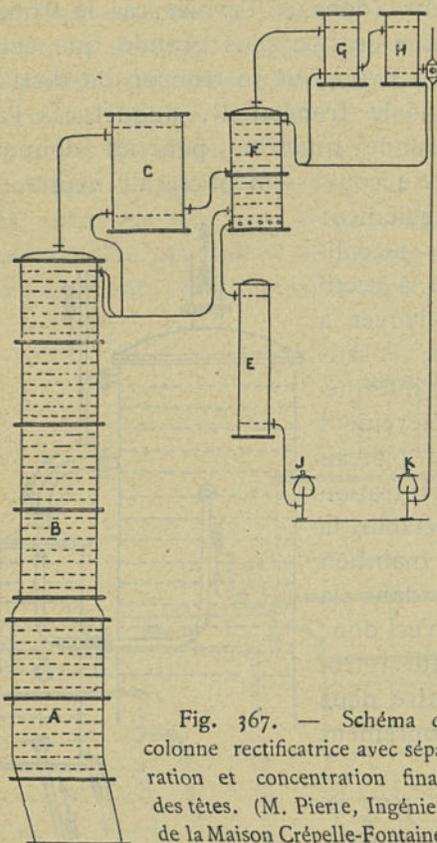


Fig. 367. — Schéma de colonne rectificatrice avec séparation et concentration finale des têtes. (M. Pierre, Ingénieur de la Maison Crépelle-Fontaine).

Critique

de cette épuration finale
par M. Barbet.

580. M. Barbet dit qu'il n'ajoute pas lamoin-dre foi dans l'efficacité du perfectionnement de M. Guillaume consistant à mettre sous le tronçon

de pasteurisation quelques plateaux d'épuration complémentaire avec chauffage La même idée était venue en 1893, à M. Pierre, ingénieur de la maison L. Fontaine, qui construisait alors les appareils Barbet. La figure 367 donne l'image du brevet du 29 Mars 1893. On y retrouve l'addition de plateau d'épuration complémentaire D au-dessous de la pasteurisation D.

Le perfectionnement de M. Pierre a été monté à la distillerie de betteraves de M. Menu, à Carvin, et les résultats, comme qualité et odeur de l'alcool, ont été, d'après M. Barbet, tout-à-fait les mêmes que ceux de la colonne simple de Clastres.

M. Barbet explique cet insuccès en disant qu'au point de vue

éthers légers et *aldéhydes*, il n'y a réellement pas besoin de pousser la purification plus loin que ne le fait sa pasteurisation. Ce n'est pas par ces impuretés là que pèche le pasteurisé, mais plutôt par une certaine quantité d'éthers lourds et d'origine. Celles-ci sont véhiculées jusqu'au bout de l'appareil par la grande proportion d'acide carbonique que contient le vin, ce gaz ne pouvant pas trouver d'autre issue qu'à travers le plateau de pasteurisation.

D'après M. Pierre, le tronçon D' de la fig. 363, ne peut apporter aucune amélioration dans la qualité du pasteurisé; il ne fait que concentrer les éthers en utilisant le calorique latent des vapeurs sortant du condenseur C, pour se rendre en E. Il faut une extraction de têtes, moins volumineuse, mais la rentrée de la rétrogradation du condenseur E se faisant en-dessous de la prise du pasteurisé, augmente l'impureté du pasteurisé par les éthers et les odeurs constamment ramenés dans la colonne et qui souillent d'autant plus le pasteurisé que la concentration des éthers est plus efficace et que la rétrogradation devient plus impure. Les résultats des deux appareils ne sauraient donc être les mêmes.

Distillation rectification directe avec élimination de la totalité des produits de têtes comme opération finale, système E. Guillaume (modèle 1899).

581. Poussant plus loin ses idées sur l'élimination des produits de tête et de queue, M. Guillaume a créé ce nouveau modèle dans lequel il renverse complètement l'ordre d'enlèvement des impuretés.

Jusqu'ici, la vapeur provenant de la colonne à distiller était utilisée pour concentrer les produits de tête, afin de faire l'extraction de ceux-ci, puis l'alcool ainsi épuré de ses produits de tête allait, à l'état liquide, dans une autre colonne pour y être élevé au degré alcoolique nécessaire à la rectification proprement dite; la concentration et l'extraction des produits de queue se faisaient dans cette seconde colonne, alors que l'alcool achevé en était extrait par la partie supérieure. Or, dans le type nouveau, ces opérations se trouvent inversées; c'est-à-dire que les vapeurs d'alcools brutes provenant de la colonne à distiller servent à élever l'alcool au très haut degré nécessité par la rectification, et à faire en même temps la concentration et l'extraction des produits de queue, *alors que la distillation et l'extraction des produits de tête se font comme opération finale, dans une dernière*

petite colonne spécialement affectée à cet objet et d'une disposition toute spéciale.

On voit que, dans la première façon de faire, les flegmes déjà débarrassés des produits de tête mais conservant tous leurs produits de queue, restent longuement dans une seconde colonne dans laquelle de nouveaux produits de tête peuvent se former en quantité suffisamment appréciable pour nuire à la qualité de l'alcool.

Dans le type nouveau l'extraction des produits de tête se faisant comme *opération finale*, cette extraction comprend non seulement ceux de ces produits qui existaient tout d'abord dans les flegmes bruts, mais aussi tous ceux qui ont pu se former au cours de la rectification.

Enfin, il est à considérer que le nouveau type dépense moins de vapeur que les autres, parce que ce sont les vapeurs de distillation qui portent tout l'alcool au très haut degré nécessaire, alors qu'auparavant ces vapeurs de distillation ne servaient qu'à opérer la seule extraction des produits de tête, laquelle demande beaucoup moins de dépense de chaleur que la rectification proprement dite.

Mais, pour que cette façon de procéder fût possible, il fallut, d'une part, imaginer de faire dans la colonne principale où se fait l'extraction des produits de queue, une extraction spéciale de produits très concentrés (92 à 94°), pour enlever certaines impuretés qui partent généralement avec les produits de tête quand on procède de la façon inverse, et qui, néanmoins, se comportant comme des produits de queue dans l'alcool à très haut degré, souilleraient en partie l'alcool achevé ; et, d'autre part, faire en sorte que la véritable distillation des produits de tête comme opération finale, s'opère sans diminuer le haut degré de l'alcool déjà obtenu.

A. — *Distillation et enlèvement des produits de queue.* — Voyons d'abord l'application de ce nouveau procédé à une colonne à distiller ordinaire.

La colonne à distiller les vins A (fig. 368) étant quelconque, les vapeurs alcooliques brutes qui en proviennent, vont au bas de la première colonne de rectification B pour remonter ensuite sur les plateaux. Le liquide de rétrogradation (*le reflux*) qui tombe au bas de la colonne B rentre dans la colonne A par b, comme le ferait la rétrogradation ordinaire d'un chauffe-vin.

Au premier plateau, au dessus de l'arrivée des vapeurs brutes dans B (ou à l'un des plateaux avoisinants) le robinet 1 permet de

faire une extraction continue des produits de queue les moins volatils, lesquels vont, après refroidissement, à l'éprouvette I.

B. — *Extraction des produits de queue les moins volatils ou moyens goûts.* — Ces produits sont de la catégorie des impuretés les plus difficiles à extraire par les moyens ordinaires ; ce sont eux précisément qui constituent très généralement les moyens goûts dans la rectification discontinue, et ce sont eux aussi — au moins certains d'entre eux — lorsqu'ils existent en quantité appréciable dans les flegmes qui, selon M. Guillaume, ont fait dire à M. Sorel que, dans la rectification continue, le lot constituant l'alcool achevé contenait à la fois l'alcool bon goût et les moyens goûts.

Jusqu'ici, lorsque dans la seconde phase de la rectification (c'est-à-dire dans celle qui suit la phase d'extraction des produits de tête préexistant dans les flegmes), il se forme, par des réactions internes, de nouveaux produits, de la catégorie de ceux qui se comportent comme des produits de tête dans l'alcool à bas degré et comme des produits de queue dans l'alcool à très haut degré, il

était impossible, d'après M. Guillaume, d'isoler entièrement ces produits de l'alcool rectifié. On peut citer, comme exemple de ce groupe d'impuretés possibles, l'isobutyrate d'éthyle qui reste un produit de tête jusque vers 92° (voir les courbes p. 847 et 849) et

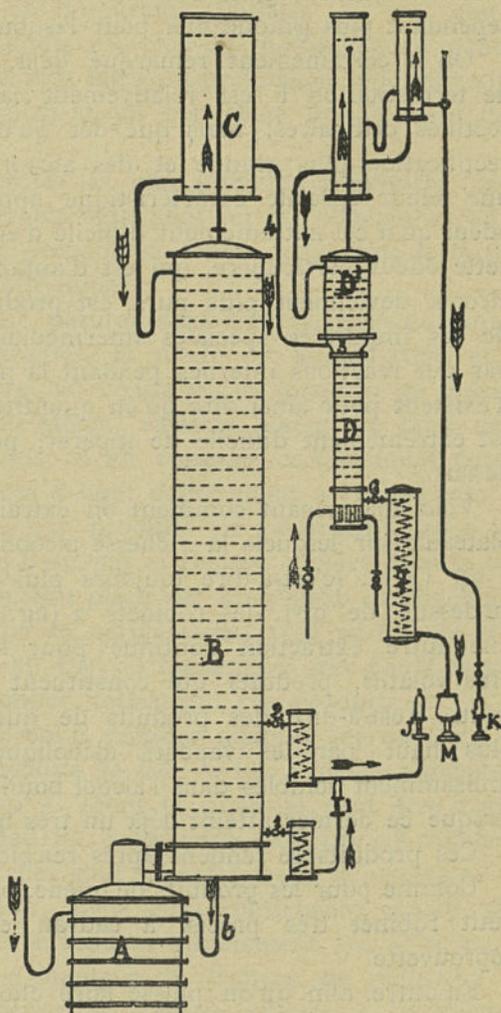


Fig. 363.

ne devient un produit de queue — et cela dans une très faible proportion qui en rend la sélection bien difficile, — qu'à partir de ce haut degré ; on peut citer encore l'isovalérate d'éthyle qui reste un produit de tête jusque vers 87° et devient ensuite produit de queue, également dans une mesure très faible, mais cependant plus grande que pour l'isobutyrate d'éthyle, etc...

On a certainement remarqué déjà, qu'avec certaines natures de fermentation il est relativement facile d'obtenir des alcools rectifiés ordinaires, mais que dès qu'on cherche à obtenir une rectification plus grande et des alcools d'une pureté supérieure, une odeur spéciale caractéristique apparaît et prend le dessus, odeur qu'il est extrêmement difficile d'enlever. Pour M. Guillaume, cette odeur particulière, qui est d'autant plus perceptible que les alcools deviennent plus purs, est produite par la présence d'une de ces impuretés spéciales intermédiaires, peut être engendrées par des réactions internes pendant la période de rectification, qui n'existent pour ainsi dire qu'en quantité infinitésimale, mais qu'il est extrêmement difficile de séparer, pour les raisons données ci-dessus.

Voici maintenant comment on extrait ces moyens goûts : aux plateaux sur lesquels la richesse alcoolique du liquide est de 90 à 94° G L : (c'est-à-dire toujours plus de 90°, et souvent même au-dessus de 93°), les robinets 2 (fig. 368) permettent de faire une autre extraction continue pour les produits intermédiaires plus volatils, produits qui constituent ordinairement les moyens goûts, c'est-à-dire des produits de queue qui sont entraînés le plus haut par les vapeurs alcooliques et qui ne deviennent suffisamment solubles dans l'alcool bouillant pour s'y arrêter, que lorsque ce dernier atteint déjà un très haut degré alcoolique.

Ces produits se rendent après refroidissement à l'éprouvette J.

Comme pour les produits de queue, on règle l'extraction par un petit robinet très précis, à cadran et vernier placé près de l'éprouvette.

En outre, afin qu'on puisse faire choix du plateau sur lequel doit se faire exactement cette extraction pour obtenir le degré le plus convenable, la même conduite allant au réfrigérant et à l'éprouvette est reliée à plusieurs robinets (voir figure suivante 371) placés sur autant de plateaux de la colonne situés eux-mêmes dans la région convenable.

Il est très important, d'après M. Guillaume, de faire cette extraction spéciale pour éviter une accumulation trop grande de la

catégorie des produits intermédiaires dont le maximum de concentration est le moins éloigné de la partie supérieure de la colonne, c'est-à-dire le plus près de la sortie des vapeurs allant au condenseur ou à la colonne finale de séparation des produits de tête.

Ce sont précisément ces impuretés spéciales qui font que la proportion des moyens goûts est plus ou moins grande dans la rectification ordinaire ; ce sont elles qui prolongent indéfiniment la période de ces moyens goûts et qui persistent très souvent dans l'alcool achevé.

Bref, ce sont les impuretés les plus difficiles à extraire, parce qu'elles se sélectionnent moins nettement sur les plateaux et qu'on ne peut les séparer qu'en prenant en même temps une forte proportion relative d'alcool éthylique.

Leur proportion et leur nature étant très variables suivant la nature des produits travaillés, le mode de fermentation et la façon dont cette dernière est conduite, la quantité de moyens goûts à extraire est elle-même variable. Faute de faire cette extraction au point indiqué, il en resterait certainement encore dans les vapeurs alcooliques à haut degré allant à l'éprouvette de la colonne DD'. En effet, ces produits ne pourraient sortir que par le haut de la colonne B ou par le robinet 1 placé dans le bas. Or, leur maximum se trouvant placé sur un plateau intermédiaire entre ce haut et ce bas, ils se partageraient pour partir des deux côtés. Une fois parvenus en DD' où règnent les très hauts degrés, il serait impossible d'éliminer totalement ces produits, et il en resterait toujours dans l'alcool à rectifier allant à l'éprouvette.

Extraction finale des produits de tête. — Les vapeurs alcooliques qui sortent du condenseur C (dont la quantité peut être réglée soit par le passage de l'eau au condenseur, soit par un robinet), sont à très haut degré ; elles sont complètement débarrassées de tous les produits de queue, mais elles contiennent encore tous les produits de tête ; elles se rendent directement, par le tuyau 4, dans la 2^e colonne DD', à hauteur du tronçon de réduction 3. C'est une colonne indépendante spéciale affectée à l'extraction finale des produits de tête.

La concentration de ces derniers s'opère dans la partie supérieure D', alors que leur distillation proprement dite se fait dans la partie D située au-dessous du tronçon de réduction, laquelle partie forme une véritable colonne de distillation dont le soubassement est chauffé par un serpentín ou une chambre tubulaire. Le chauffage est réglé au moyen d'un robinet qui amène la vapeur

nécessaire ; cette vapeur est prélevée soit au bas de la colonne à

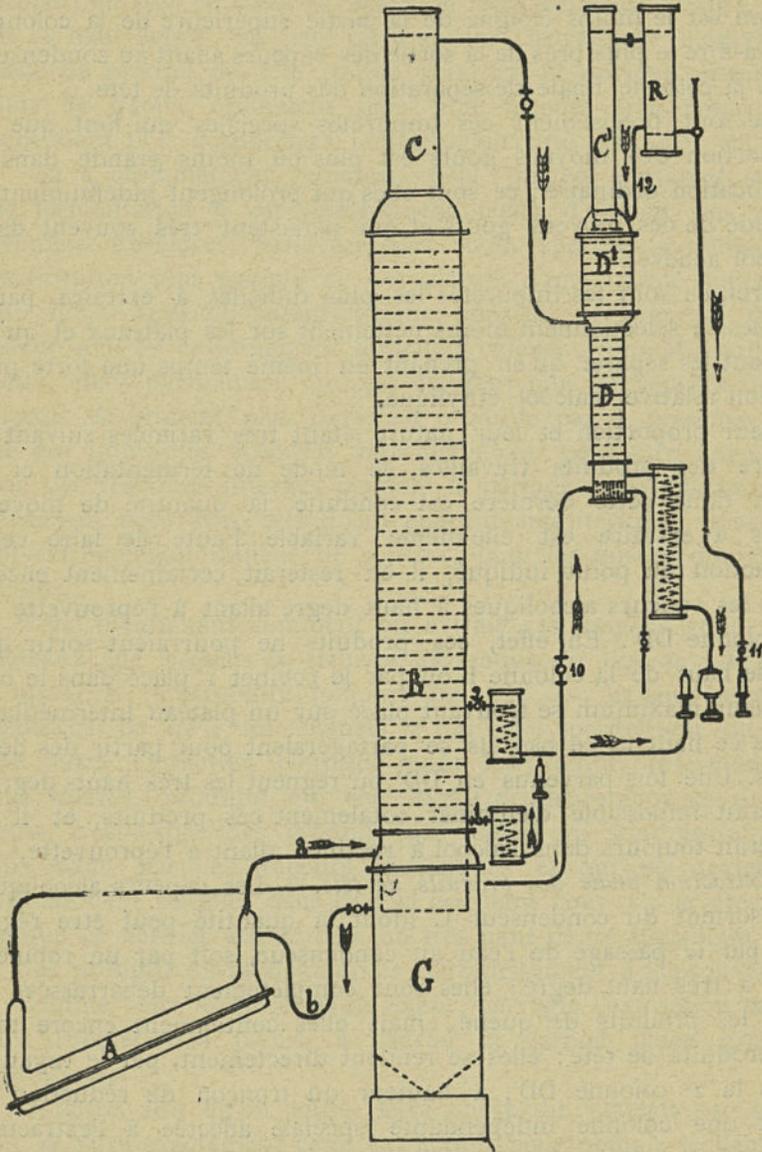


Fig. 369. — Distillation-rectification directe de M. Guillaume : 1° Epuisement du moût dans la colonne inclinée A ; 2° Extraction des produits de queue et des moyens goûts, et concentration de l'alcool à haut degré en B ; 3° Séparation des produits de tête, par une colonne d'épuration finale des alcools à haut degré D D'.

distiller même, soit directement sur le ballon d'échappement. Le robinet de réglage est placé à portée de la main.

Les produits de tête, concentrés et refroidis, vont à l'éprouvette K, et l'alcool rectifié achevé sort par le soubassement de la petite colonne D au fur et à mesure de son arrivée au bas de cette colonne pour aller au réfrigérant 7, et de là à la grande éprouvette M de bon goût. Ce sont les « vinasses » de la distillation des produits de tête qui deviennent l'alcool bon goût achevé.

Tel est le nouveau procédé de M. Guillaume.

La figure 369 en est une application à la colonne à distiller « inobstruable » Guillaume ; cette application comprend tous les autres perfectionnements déjà cités antérieurement (les mêmes lettres et chiffres se réfèrent aux mêmes objets d'une figure à l'autre) :

A est la colonne à distiller, dite « inobstruable », pour moûts clairs ou épais ; G est le récipient accumulateur dont le trop-plein rentre par b dans la colonne à distiller. Le fond de ce récipient est conique pour pouvoir réunir et évacuer les dépôts qui pourraient se produire au cas où l'on jugerait utile de traiter les flegmes par des agents chimiques d'épuration ; ces derniers peuvent être alors introduits soit sur

l'un des plateaux, soit dans le récipient accumulateur même.

Les vapeurs alcooliques, arrivant par 8 de la colonne à distiller, barbotent d'abord dans la partie supérieure du liquide contenu dans le ballon accumulateur avant de s'élever dans la colonne B. La marche est réglée de façon à maintenir la richesse du liquide

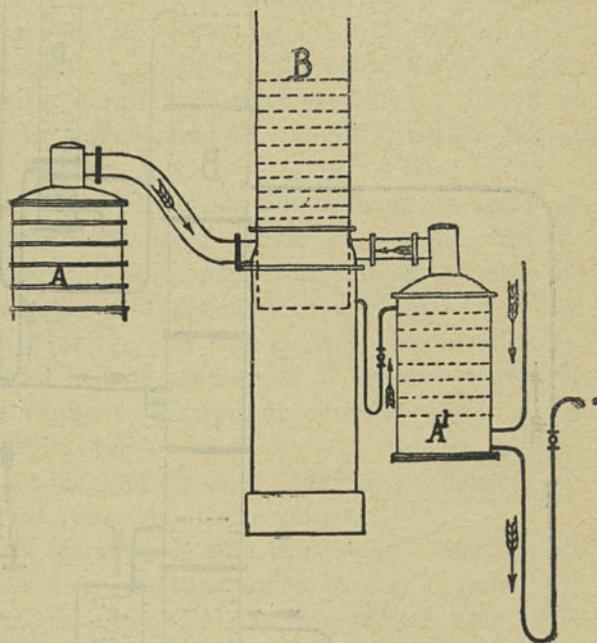


Fig. 370. — Distillation-rectification directe de M. Guillaume.
— Schéma du dispositif adopté dans le cas où la colonne d'épuisement A est trop haute pour que les reflux de la colonne de concentration B puissent y retourner.

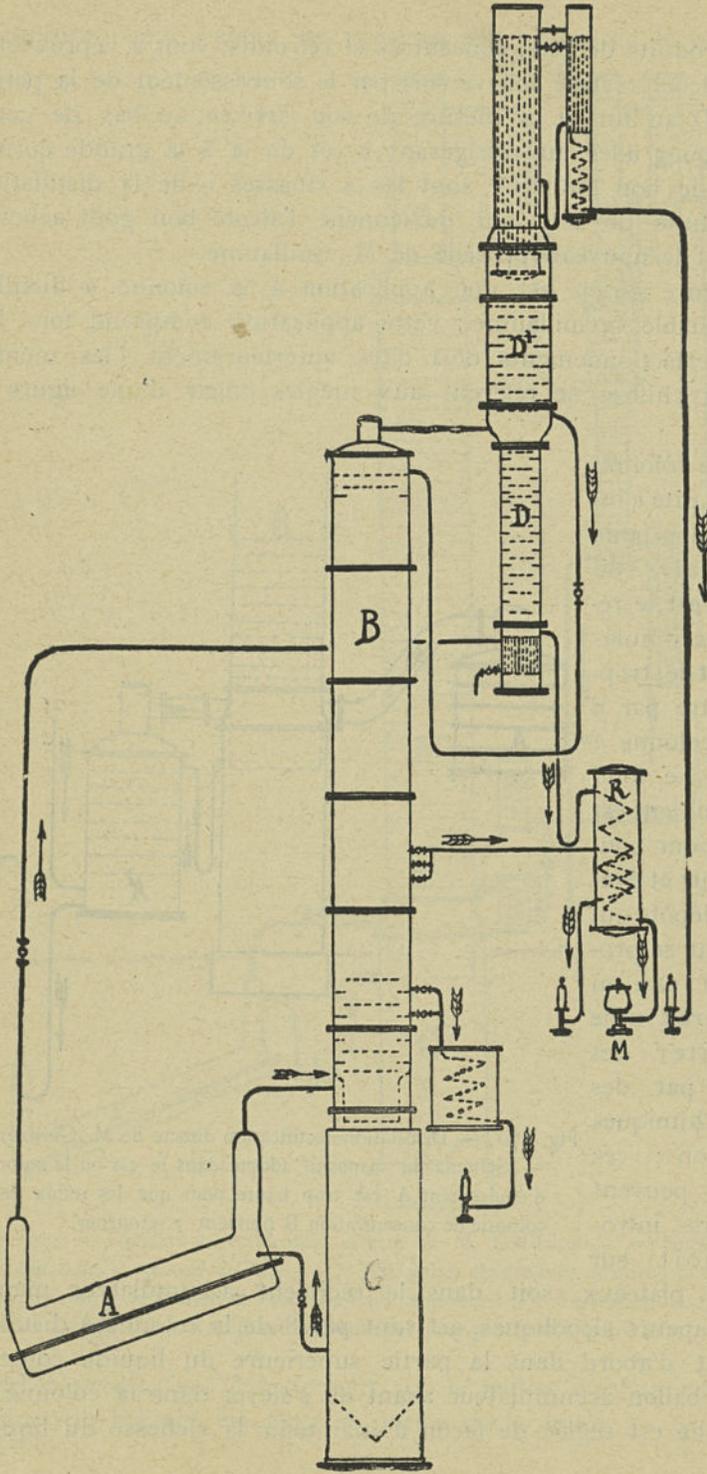


Fig. 371. — Distillation-rectification directe système Guillaume avec extractions inversées : 1° Distillation par la colonne inclinée A ;
2° Concentration de l'alcool et séparation des queues et des moyens goûts en B ; 3° Eparation finale en D D₁.

alcoolique contenu dans le ballon accumulateur entre 5 et 10° de préférence ou, d'une façon plus générale, très peu au-dessus de la richesse du moût à distiller.

Dans ces conditions, le ballon accumulateur G ne sert plus d'extracteur d'huiles ; ces dernières sont extraites par le robinet 1 et les produits intermédiaires par le robinet 2 (identiquement comme il a été dit pour la figure 368).

Les condenseurs C C' sont du système Guillaume déjà connu ; les vapeurs alcooliques entrent par le bas, alors que l'eau froide arrive par le haut, la méthodicité de la circulation étant assurée par les moyens indiqués antérieurement et la rétrogradation de la condensation dans la colonne n'ayant pas de conduite indépendante. Un robinet à vernier, d'un réglage très précis, détermine la sortie des vapeurs alcooliques allant à la colonne D D'.

Le chauffage du faisceau tubulaire ou du serpentin placé dans le soubassement de cette dernière colonne est fait, au moyen du robinet 10, par un petit prélèvement de vapeur détendue fait au bas de la colonne à distiller.

Le réfrigérant R est très petit ; son importance est seule déterminée par la nécessité d'évacuer l'acide carbonique, car elle sera toujours plus que suffisante pour refroidir la quantité de produits de tête à envoyer à l'éprouvette ; cette extraction est réglée au moyen du robinet 11. Un siphon de communication 12, établi entre le réfrigérant R et le condenseur C', permet la rentrée du liquide alcoolique condensé et refroidi dans le réfrigérant R et son réchauffage par les vapeurs qui s'élèvent dans le condenseur C' ; la rentrée de ce liquide froid dans le condenseur C' augmente ainsi d'autant l'efficacité de ce dernier.

Dans la figure 370, il est supposé que la colonne à distiller est trop haute pour que la rétrogradation de la colonne B puisse s'y faire. Il faut, dans ce cas, que cette rétrogradation aille dans une petite colonne d'épuisement annexe A' ; les vapeurs alcooliques qui en résultent viennent se mélanger à celles de la distillation au bas de la colonne B.

Dans la figure 371, toutes les vapeurs alcooliques provenant du haut de la colonne B vont à la colonne D' D sans passer par le condenseur. La rétrogradation en haut de la colonne B (*qui est indispensable au maintien du haut degré alcoolique et du classement des produits sur les plateaux*), est assurée au moyen d'un prélèvement convenable fait au bas du tronçon D' de la colonne D D' ; et l'alcool bon goût achevé va toujours à l'éprouvette M à sa sortie

du bas de la colonne D, comme cela a lieu dans les figurés 368 et 369.

La rétrogradation sur la colonne B peut être réglée indifféremment, soit par une prise directe faite au bas du tronçon D, au moyen d'un robinet placé à portée de l'opérateur, auquel cas la colonne D est alimentée directement par le trop-plein du bas de ce même tronçon D', — soit en procédant de la façon inverse.

**Distillation-rectification directe système Guillaume (type 1896);
avec épuration finale des alcools achevés.**

582. Dans cet appareil (fig. 372) les vapeurs alcooliques de la colonne inclinée A vont alimenter la colonne D qui leur enlève les produits de tête. Les vapeurs d'alcool sont concentrées et débarrassées de leurs moyens goûts dans la colonne B, puis de nouveau des produits de tête récemment formés dans la colonne S, dont le dessin doit être rectifié suivant celui de la colonne D D de la figure 371.

M. Barbet reproche à la distillation-rectification modèle 1899, de M. Guillaume, de forcer tout l'alcool à traverser les zones de concentration maxima des huiles et des têtes, de sorte qu'on commencerait, d'après lui, par salir l'alcool avant de l'épurer, ce qui rendrait plus difficile l'élimination des éthers d'origine; suivant lui, l'épuration à haut degré devrait nécessairement être précédée d'une épuration à bas degré, pour éviter de concentrer l'alcool en présence de ses impuretés.

L'appareil de la fig. 372 échappe complètement à ces reproches; c'est celui qui donne les résultats les plus parfaits au point de vue de la qualité.

Application de l'épuration finale à la rectification continue.

583. Nous représentons d'abord (fig. 373) l'application de l'épuration finale à la rectification continue type 1896 de M. Guillaume. Le flegme passe d'abord à l'épurateur continu figuré à gauche. Les têtes concentrées sortant du condenseur C' s'en vont au réfrigérant R. Le flegme épuré est épuisé en G et en A; l'alcool est concentré et débarrassé de ses mauvais et de ses moyens goûts

dans la colonne B. Les vapeurs de cette colonne vont alimenter la colonne d'épuration finale DD', surmontée du condenseur C.

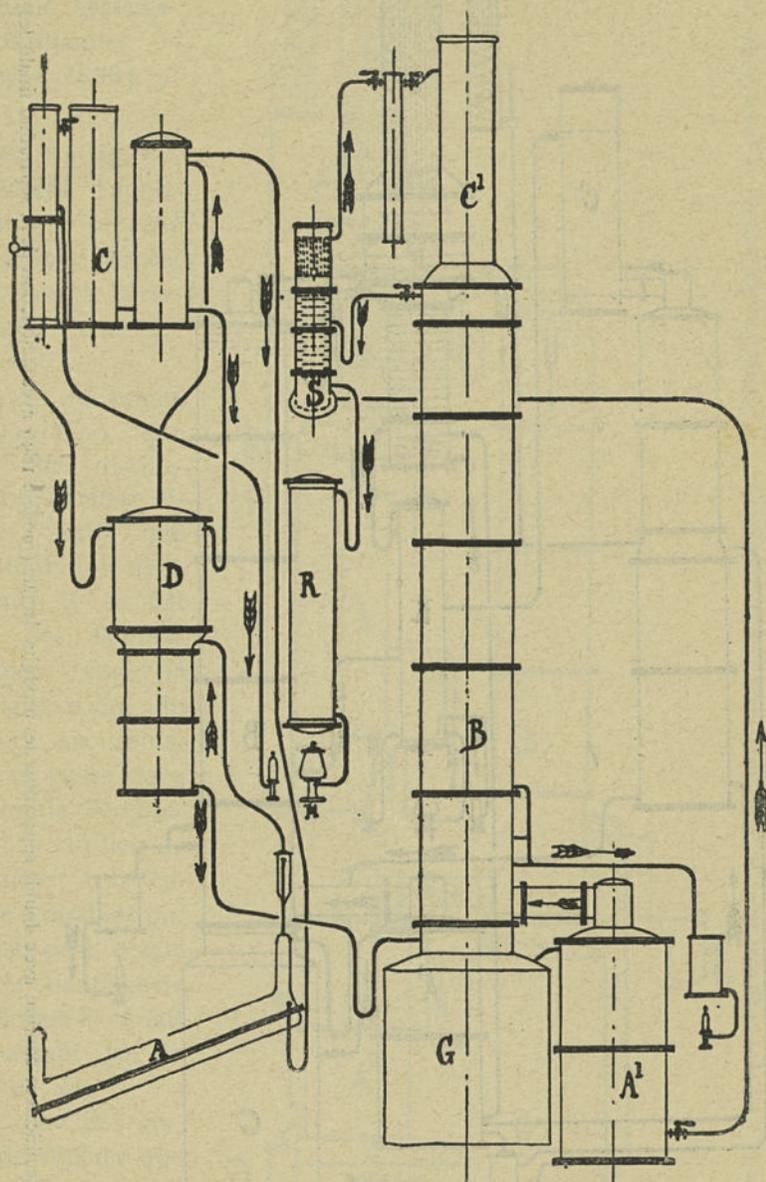


Fig. 372. — Distillation-rectification directe de M. Guillaume avec double séparation des produits de tête : 1° Distillation dans la colonne inclinée A ; 2° Séparation-concentration des produits de tête en D ; 3° Extraction des produits de queue et concentration de l'alcool à haut degré en B ; 4° Epuration finale en S.

NOTA. — Le dessin de la colonne S doit être rectifié suivant la colonne D D', des figures précédentes.

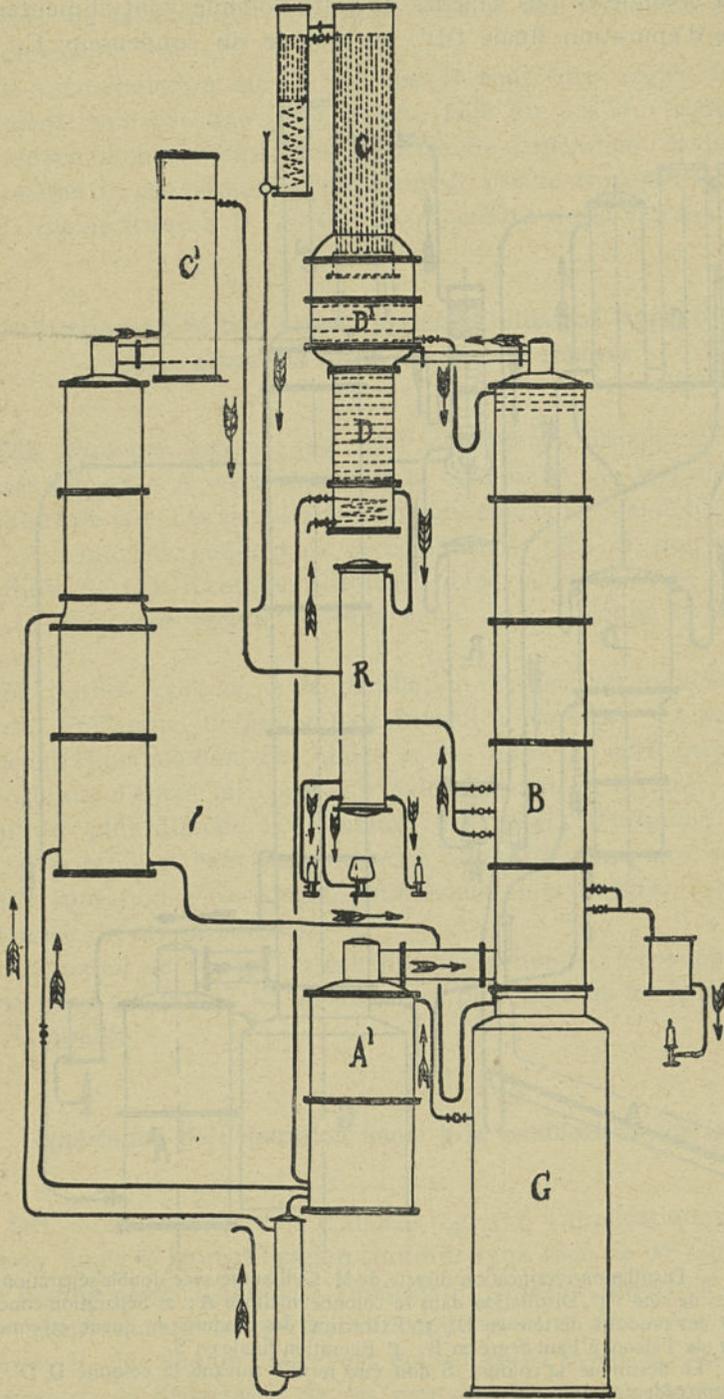


Fig. 373. — Rectificateur continu avec double séparation des produits de tête (modèle 1896 avec adjonction de la séparation finale des têtes).

Rectification continue système Guillaume (type 1899).

584. La fig. 374 représente l'application du procédé Guillaume, dernier type 1899, à la rectification continue séparée.

C'est la même disposition que pour la distillation-rectification directe, sauf que l'alimentation de la colonne B se fait avec des flegmes liquides, que la rétrogradation du ballon accumulateur G passe dans la colonne d'épuisement A¹ (au lieu de retourner à la colonne à distiller qui n'existe pas), et que tout le chauffage de la colonne B se fait en passant par la colonne A¹.

Il n'est pas inutile de répéter que la rectification continue séparée, bien que beaucoup plus avantageuse que la rectification discon-

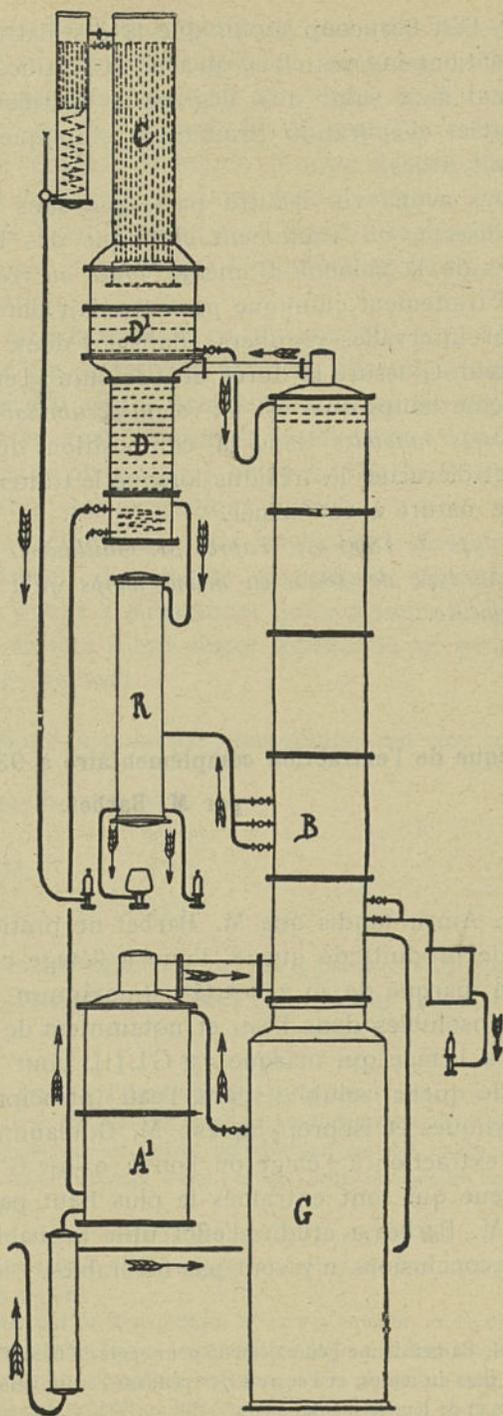


Fig. 374. — Rectification continue séparée de M. Guillaume, avec extractions inversées : 1° Extraction des produits de queue et des moyens goûts et concentration de l'alcool à haut degré; 2° Séparation des produits de tête par une colonne d'épuisement finale des alcools à haut degré.

fine, l'est beaucoup moins que la distillation-rectification directe.

Mentionnons, toutefois, qu'avec la rectification continue séparée, on peut faire subir aux flegmes à rectifier tous les traitements préalables d'épuration (traitement chimique ou filtration), qu'on jugerait utiles.

Nous avons vu, d'autre part, que dans la distillation-rectification directe, un traitement chimique des flegmes peut être fait au bas de la colonne B même, *grâce au récipient accumulateur G.*

Ce traitement chimique peut être fait alors d'une façon continue, ou par intervalles réguliers : dans les deux cas le récipient accumulateur G assure la durée et, par suite, l'efficacité du traitement, en même temps qu'il est *un volant accumulateur* permettant d'éviter des écarts nuisibles dans la composition du traitement, et qu'il permet d'évacuer les résidus lorsque le traitement chimique adopté est de nature à en former.

Ce type de 1899 est, d'après M. Guillaume, plus économique encore que son type de 1896, en même temps qu'il est généralement aussi plus efficace.

**Critique de l'extraction complémentaire à 93°, de M. Guillaume,
par M. Barbet.**

585. Ainsi, tandis que M. Barbet ne pratique que deux extractions de produits de queue, l'une à l'étage où le liquide en rectification marque de 40 à 50° G L (maximum de concentration des huiles insolubles dans l'eau et notamment de l'alcool amylique), et l'autre à l'étage qui marque 75° G L (1), pour le soutirage des produits de queue solubles dans l'eau (principalement les produits isobutyliques et isopropyliques), M. Guillaume conseille une troisième extraction à l'étage où l'on a 92-94° G L, pour les produits de queue qui sont entraînés le plus haut par les vapeurs alcooliques. M. Barbet a étudié l'effet utile probable de ces extractions et ses conclusions n'y sont pas favorables.

(1) M. Barbet donne généralement pour règle de faire l'extraction à 40-50° pendant les deux tiers du temps, et l'autre à 75° pendant l'autre tiers. Cela dépend des matières premières et de leur fermentation.

La plupart des impuretés sont produits de tête dans l'alcool à bas degré et produits de queue dans l'alcool à haut degré. Il y a pour chacune de ces impuretés un degré alcoolique de transition pour lequel l'impureté n'est ni de tête, ni de queue, c'est-à-dire que la vapeur produite possède le même prorata de cette impureté que le liquide qui l'a engendrée. Donc aucune analyse, aucune séparation de l'impureté n'est possible à ce degré alcoolique là.

C'est précisément à cet étage là que l'impureté se localisera au maximum de concentration.

Il semble, *à priori*, qu'il faudrait faire, au continu, autant d'extractions qu'il existe de ces impuretés *hybrides*, chacune ayant son point critique spécial et par conséquent une zone particulière où elle est le plus concentrée, mais comme la localisation s'étend sur un assez grand nombre de plateaux (1), on peut, d'après M. Barbet, réduire à deux le nombre des extractions utiles.

En nous reportant au diagramme des coefficients de purification dressé par M. Barbet, d'après les expériences directes de M. Sorel (fig. 229), on y voit 5 substances qui jouissent de la propriété d'être produits de tête à bas degré alcoolique et produits de queue à haut degré; ce sont :

L'alcool amylique, dont le point de changement est vers 36-40°;

L'isovalérate d'isoamyle, vers 60°;

L'acétate — — 67°;

L'isovalérate d'éthyle, — 87°;

L'isobutyrate — — 93°.

L'examen de ces courbes montre que les 3 premières impuretés donneront une loi de décroissance assez rapide sur les plateaux.

(1) Sur le plateau où se pratique l'extraction à 75°, on peut trouver à certains moments jusqu'à 8 et même 10 p. 100 d'alcool amylique insoluble dans l'eau salée; et dans le soubassement de l'appareil qui est à zéro, on voit souvent des bulles d'alcool amylique surnageant dans le tube de niveau d'eau, ce qui veut dire que les eaux résiduelles n'en étaient pas épuisées.

Pourtant, à 75°, d'après le diagramme de la fig. 334, il y a déjà 2 fois 1/2 plus de fusel dans le liquide bouilli que dans le distillat; donc le corps y est très nettement de queue, et il n'aurait pas dû y monter.

A 0°, le fusel est très nettement de tête, puisque $K' = 3,3$ environ, et la température s'est élevée de 12 à 13° depuis le plateau à 40°, tout en étant à la zone à concentration maxima de l'impureté; cela n'empêche nullement les plateaux, même assez éloignés, d'en posséder encore une proportion importante.

De plus, leur zone maxima est assez éloignée à la fois de la sortie de tête à 97° et de la sortie du bas à 0; il y a donc possibilité d'exiger une grande concentration à la zone maxima, avant que l'infection puisse se propager en proportion appréciable au goût, soit à l'éprouvette, soit à la sortie inférieure. Pour ces produits, on pourra se permettre de limiter l'extraction à environ 2 p. 100, c'est-à-dire de créer une zone dans laquelle l'impureté du flegme sera cinquantuplée.

M. Barbet s'est appliqué à démontrer qu'il n'en va plus de même pour les corps analogues à l'isovalérate d'éthyle, et surtout à l'isobutyrate d'éthyle que l'extraction de M. Guillaume a pour but d'atteindre.

Voici son raisonnement :

Il existe un corps qui, dans les très hauts degrés alcooliques, se comporte à très peu près comme l'isobutyrate d'éthyle, ou du moins possède un coefficient de purification K' de même signe et à peu près égale, c'est l'eau. Or, nous allons faire voir dans quelle mesure les plateaux sont efficaces pour éliminer l'eau de l'alcool, et le parallèle avec l'isobutyrate d'éthyle nous donnera des analogies concluantes.

Nous avons précédemment (p. 780, fig. 229) donné le diagramme des coefficients de rectification de l'alcool pur mélangé d'eau, l'alcool étant considéré comme produit de tête par rapport à l'eau. Il serait très intéressant d'avoir également le diagramme des coefficients de rectification de l'eau considérée comme impureté de queue de l'alcool. En effet jusque vers 40-50°, le distillateur cherche toujours à faire sortir l'alcool de l'eau, à épuiser l'eau. Mais pour les très hauts degrés, les appareils sont combinés pour déshydrater l'alcool, pour l'épuiser de son eau, laquelle devient une impureté de queue, impureté d'autant plus gênante qu'elle est en forte proportion comparativement aux fusels et qu'elle apporte une grande perturbation dans les fractionnements des autres corps.

Enfin, chose plus grave encore, son coefficient K' devient très voisin de l'unité à partir de 97°, de telle sorte qu'à partir de ce moment nos appareils sont totalement impuissants à pousser plus loin la déshydratation.

Pour étudier l'élimination de l'eau que produisent la rétrogradation et la série des plateaux, il faut que nous ayons recours à l'alcoométrie pondérale qui seule peut nous donner le prorata exact de l'eau dans le mélange alcoolique. Ce n'est plus le degré alcoolique des vapeurs provenant d'un liquide alcoolique bouillant qu'il importe de mettre en évidence, mais bien le poids d'eau pour 100 grammes qu'elle entraîne. Dans ces conditions, le tableau de M. Sorel se transcrit de la façon suivante :

TABLEAU SOREL EN DEGRÉS PONDÉRAUX
MONTRANT L'EAU COMME IMPURETÉ DE QUEUE DE L'ALCOOL

Degrés G. L.	LIQUIDE BOUILLANT			Teneur en eau de la vapeur	K' (coefficient de purification)	K' en nombres entiers négatifs
	Température d'ébullition	Degrés pondéral	Teneur en eau			
1	2	3	4	5	4	5
30 °	85.70	24.69	75.31	38.34	0.509	— 1.96
40	84.10	33.38	66.62	35.44	0.53	— 1.888
50	82.80	42.51	57.49	32.17	0.56	— 1.791
60	81.70	52.16	47.84	28.55	0.59	— 1.67
70	80.80	62.45	37.55	24.30	0.59	— 1.56
80	79.92	73.54	26.46	18.83	0.64	— 1.408
90	79.12	85.70	14.30	11.95	0.91	— 1.204
93	78.90	89.67	10.33	9.24	0.83	— 1.12
94	78.83	91.03	8.97	8.27	0.92	— 1.084
95	78.75	92.43	7.57	7.07	0.93	— 1.07
96	78.68	93.86	6.14	5.86	0.95	— 1.05
97	78.61	95.35	4.65	4.50	0.96	— 1.04
98	78.56	96.84	3.16	3.01	0.96 (?)	— 1.05(?)
99	78.48	98.39	1.61	1.53	0.95 (?)	— 1.05(?)
100	78.4	100	0	0	1.00	— 1.00

D'après les chiffres de ce tableau, traçons un diagramme (fig. 375) qui parlera mieux à l'esprit. Les petites inflexions de la courbe dans les degrés élevés (de 90 à 100°) sont certainement dues à de légères erreurs d'expérimentation, mais peu importe. La courbe

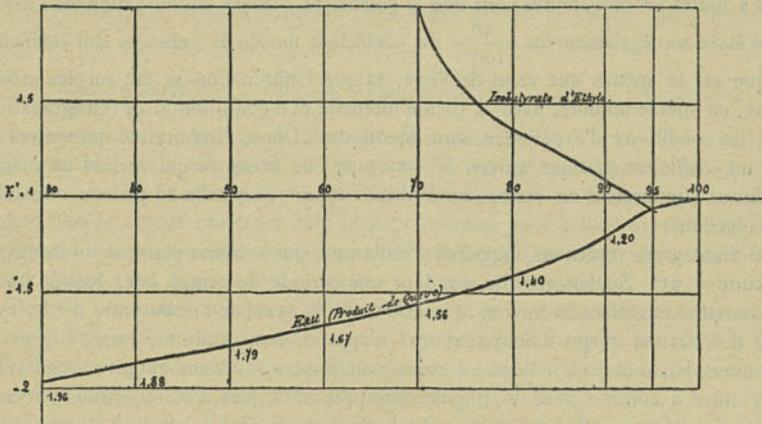


Fig. 375.

Diagramme donnant les coefficients de purification de l'eau considérée comme impureté de queue par rapport à l'alcool.

moyenne, dans cette période, nous montre que de 93 à 100°, le coefficient K' varie de 0,90 à 1,00 ; soit 0,95 en moyenne. C'est exactement la même moyenne que nous avons trouvée pour l'isobutyrate d'éthyle de 93 à 97° ; d'où notre assimilation pour ces

hauts degrés. Notre diagramme dessine simultanément la courbe du coefficient de l'isobutyrate

La pratique nous enseigne qu'il est extrêmement facile d'obtenir de l'alcool à 93° aux colonnes à distiller. Quand les plateaux sont d'une bonne construction, c'est l'affaire de 8 à 10 plateaux au plus. Mais à partir de 93° jusqu'à 96-97°, ce n'est plus la même affaire ; il faut accumuler un grand nombre de plateaux, et le coefficient d'efficacité de ceux-ci diminue encore par rapport aux données théoriques. Alors que l'on devrait d'après le tableau ci-dessus, gagner en moyenne 0°25 à 0°275 d'un plateau à l'autre (1), on ne trouve que 0°1 par plateau environ.

$$\text{— } 96^\circ \text{ — } \quad \text{— } 96^\circ 25' \text{ —}$$

La moyenne est $\frac{0^\circ 35 + 0^\circ 20}{2} = 0^\circ 275$ d'accroissement.

Nous pouvons accepter cette augmentation de degré comme moyenne de la plupart des rectificateurs, ce qui donne un coefficient moyen d'efficacité de 0,40 par rapport au rendement théorique, pour un coefficient moyen $K' = 0,94$.

Tout à l'heure notre tableau donnait :

G. L.	Teneur en eau du liquide bouillant	Teneur en eau de la vapeur	K'	K' en nombres négatifs
95	7.6	7.1	0.93	— 1.07
96	6.2	5.85	0.94	— 1.06

Nous venons de voir que, *pratiquement*, la déshydratation n'est que les $\frac{40}{100^\circ}$ de ces chiffres, ce qui nous donne en réalité :

G. L.	Liquide bouillant	Vapeur	K'	K' en nombres négatifs
95	7.6	7.4	0.973	— 1.027
96	6.2	6.06	0.977	— 1.023

Il y a toutes les probabilités pour que le coefficient *pratique* d'élimination de l'isobutyrate d'éthyle soit également les $\frac{40}{100^\circ}$ du coefficient moyen K' , puisque son coefficient théorique est le même que celui de l'eau, et que l'élimination se fait sur les mêmes plateaux, en même nombre, avec la même intensité et d'ébullition et de rétrogradation. Toutes les conditions d'expérience sont identiques. Donc, l'isobutyrate présentera en réalité un coefficient pratique moyen $K' = 0,975$ ou bien, ce qui revient au même, nous aurons l'impureté d'un plateau en multipliant par 1,025 celle du plateau immédiatement supérieur.

Ceci étant posé, reprenons l'appareil Guillaume, qui a trente plateaux au-dessus de l'extraction à 93°. Supposons que, pendant une période de temps assez longue on ne fasse pas cette extraction, et voyons que deviendra le taux de l'isobutyrate d'éthyle au plateau d'extraction *b*, qui a le maximum. L'appareil étant continu, lorsque l'état de régime est établi, il faut qu'il sorte en vapeur du plateau supérieur autant d'isobutyrate qu'il en entre à continu avec le flegme, puisqu'il n'y a plus d'autre exutoire à cette impureté. Soit *a* le taux de cette impureté.

Le taux sur le vingt-neuvième plateau sera $a \times 1,025$.

Sur le vingt-huitième plateau, $a \times \frac{1,025^2}{1,025}$

Sur le premier plateau, $a \times \frac{1,025^{30}}{1,025} = a \times 2,097$.

(1) L'alcool à 95° donne à l'ébullition 95°35.

C'est une très faible concentration.

Quelle concentration faudrait-il pour que l'extraction de M. Guillaume pût réellement en purger l'appareil ?

Si l'on n'extrait que 5 p. 100, il faudrait que ce liquide contint 20 a d'impureté, puisque :

$$\frac{5}{100^e} \times 20 a = a.$$

Si l'on pousse l'extraction à 10 volumes, le plateau devrait fournir du liquide à 10 a d'impureté, et alors le repassage de cette quantité devient très onéreux.

Mais le plateau n'a que $a \times 2,10$; donc il faudrait extraire près de 50 p. 100 de ce moyen goût.

Nous pouvons calculer exactement ce que l'on enlève réellement soit avec 5 p. 100, soit avec 10 p. 100 d'extraction, car, dans tous les cas, le rapport entre l'impureté de ce plateau et celle du plateau supérieur est égal à $\frac{30}{1.025}$

Nous avons les deux équations :

$$a = a \times \frac{30}{1.025} = a \times 2.10$$

$$\frac{5}{100^e} \times a + \frac{95}{100^e} \times a = a$$

D'où l'on tire tous calculs faits :

$$a = 0,9478 a, \text{ et } a = 1,99 a$$

Les $\frac{10}{100^e}$ d'extraction au plateau 1 font sortir 0,0995 a, soit 9,95 p. 100 de l'impureté contenue dans le flegme ; et l'alcool du haut en garde 90,05 p. 100.

En refaisant les calculs pour une extraction portée à 10 p. 100, on trouve : $a = 0,9009 a$ et $a = 1,89 a$.

Les $\frac{5}{100^e}$ d'extraction au plateau 1 font sortir 18,9 p. 100 de l'impureté et l'alcool du haut en garde 81,1 p. 100. Il n'est donc pas purifié.

En résumé, cette extraction sur le plateau à 90 94°, sur laquelle M. Guillaume insiste, ne possède en aucune façon les vertus éliminatoires annoncées. Les 90/100^{es} de l'isobutyrate du flegme passeront dans le pasteurisateur final à haut degré, et là, malgré les plateaux inférieurs additionnels, la presque totalité de l'impureté restera dans l'alcool achevé, puisqu'à ces degrés très élevés elle est impureté de queue.

C'est de l'épurateur continu seul que l'impureté isobutyrate d'éthyle est justiciable, surtout si l'on a soin de ne pas pousser le degré des produits de la tête au-delà de 94°. M. Guillaume a grandement tort d'avoir supprimé l'épurateur dans son nouveau modèle. Les extractions à 93° sont incapables d'y suppléer.

Etudions également à fond la manière dont se comportent en rectification continue les deux autres impuretés voisines, l'Isovalérate d'Éthyle et l'Acélate d'Isoamyle. Nous allons aussi prouver que ces deux corps, dont le dernier surtout semble nettement produit de queue, sont pourtant l'objet d'une certaine élimination parmi les têtes de l'épurateur.

Ce fait ne présentera d'ailleurs plus rien de surprenant a priori, si l'on veut bien se rappeler que l'eau est aussi produit de queue, et que pourtant, dans des têtes à 94°, il sort une proportion pondérale de 9 p. 100 d'eau avec l'alcool.

Prenons d'abord l'isovalérate d'Ethyle ; pour tracer le diagramme de la répartition de cette impureté dans un épurateur continu, nous allons d'abord calculer exactement le coefficient de purification pour chaque teneur alcoolique et conformément à ce que nous avons fait plus haut, nous allons admettre un *coefficient d'efficacité* aux plateaux. Nous avons trouvé que ce coefficient pratique n'était guère que de 0,40; admettons-le un peu meilleur, soit 50 p. 100 de l'efficacité théorique.

Degrés G. L.	Coefficient de solubilité de M. Sorel	Coefficient de purification K' calculé d'après la colonne précédente	K' pratique en admettant aux plateaux 50 0/0 d'efficacité	$\frac{1}{K'}$ pour tout ce qui est inférieur à l'unité
95	0.80	0.80	0.90	— 1.11
94	»	»	»	— 1.10
93	»	»	»	— 1.09
92	»	»	»	— 1.08
91	»	»	»	— 1.07
90	0.90	0.88	0.94	— 1.06
89	»	»	»	— 1.04
88	»	»	»	— 1.02
87	»	»	»	— 1.01
86.5	»	»	1.00	1.00
86	»	»	1.01	
85	1.10	1.05	1.025	
80	1.30	1.20	1.10	
70	1.70	1.45	1.225	
60	2.30	1.77	1.385	

Nous traçons le diagramme en prenant pour ordonnées les plateaux successifs à équidistances. Admettons un épurateur ayant 7 plateaux d'épuration, plus le soubassement faisant 8^e plateau, et 8 plateaux de concentration des éthers, l'éprouvette constituant 9^e plateau.

Supposons que le taux d'isovalérate d'éthyle dans les produits de tête soit a . La teneur sur le 8^e plateau sera $a \times 1.10$ puisque 1.10 est le coefficient pratique négatif qui correspond à 93.5-94°

La teneur sur le 7^e plateau sera $a \times 1.10 \times 1.09$.

Celle du 8^e plateau $a \times 1.10 \times 1.09 \times 1.08$, etc.

Pour les plateaux d'épuration, qui sont en moyenne à 40°, M. Sorel n'a pas fait d'expériences directes. Nous admettrons, en continuant le galbe de la courbe (fig. 334), que l'on ait un coefficient K' pratique de 2.00, ce qui veut dire qu'à chaque plateau l'impureté diminue pratiquement de moitié. Voici le diagramme obtenu (fig. 376) :

On voit qu'il reste encore des traces d'impureté dans le soubassement, et que *théoriquement*, quel que soit le nombre des plateaux, il en restera toujours des traces, puisque $\frac{1}{2^n}$ ne devient nulle que lorsque n est infini. Il en est ainsi pour toutes les impuretés sans exception, et en rectification la *pureté absolue* n'existe pas. Si, par hasard, dans la discussion, il est parfois arrivé à M. Barbet de dire qu'il y avait épuration *totale*, il faut l'entendre au sens pratique et non mathématique, c'est-à-dire que les doses restantes sont si faibles qu'elles échappent à nos moyens d'investigation, soit par la dégustation, soit par l'analyse chimique.

Le diagramme ci-contre nous montre qu'à l'épurateur l'isovalérate d'éthyle se partage, de façon très inégale, entre les deux sorties, es têtes et le flegme épuré. La teneur étant a à l'éprouvette des têtes, n'est que $\frac{1}{256}$ de a dans le flegme épuré. Mais, d'autre part, il faut enir compte de ce que nous n'extrayons que 7 p. 100 en tête, et que, par conséquent, il sort 93 p. 100 en flegme. Le véritable prorata des deux sorties d'isovalérate d'éthyle est donc :

En haut 7 a + en bas 93 $\frac{a}{256} = A \times 100$
quantité entrée dans le flegme brut.

$$\frac{93 a}{256} = 0,36 a.$$

100 $A = 7,36 a$, sur lesquels il est sorti $\frac{700}{736}$ par en haut et $\frac{36}{736}$ par en bas, soit en somme 95 p. 100 par en haut et 5 p. 100 par en bas.

Dans ce diagramme nous n'avons pas fait intervenir la dilution que provoque l'alimentation; il aurait fallu faire des hypothèses sur le volume relatif du reflux des plateaux supérieurs et du flegme; celui-ci apporte environ deux fois plus d'alcool que le reflux; par conséquent l'impureté, au lieu d'être

égale à $\frac{a}{2}$ comme le dit le diagramme, devient :

$$\frac{1}{3} \left(2 A + \frac{a}{2} \right) = \frac{a \times 0,1472 + a \times 0,50}{3} = a \times 0,216.$$

Ce n'est plus que les $\frac{2}{5}$ de ce que nous avons supposé; par conséquent le flegme épuré possède à sa sortie une pureté supérieure à notre résultat.

Admettons néanmoins que le flegme épuré entraîne dans le rectificateur continu $\frac{1}{20}$ de la proportion d'isovalérate, sans doute très faible elle-même, qu'il y avait dans le flegme.

Cette impureté sera-t-elle atteinte par l'extraction soit à 75° que p.atique M. Barbet, soit par celle à 93° de M. Guillaume? Nous voyons tout d'abord sur le diagramme qu'à ces deux degrés il y a, à très peu près, équivalence de concentration de l'isovalérate $a \times 1,20$ à 93° et $a \times 1,17$ à 75°. L'une vaut l'autre.

Nous avons supposé qu'au rectificateur, au dessus du plateau à 93° il y a 30 plateaux rectificateurs. L'impureté au plateau à 93°, est $1,20 a'$; admettons qu'à partir de ce degré jusqu'à 96° le coefficient pratique K' reste à 90; c'est à très peu près exact.

L'impureté sur le 30^e plateau sera $1,20 a' \times \frac{1}{90} = 1,20 a' \times 0,042 = 0,0504 a'$.

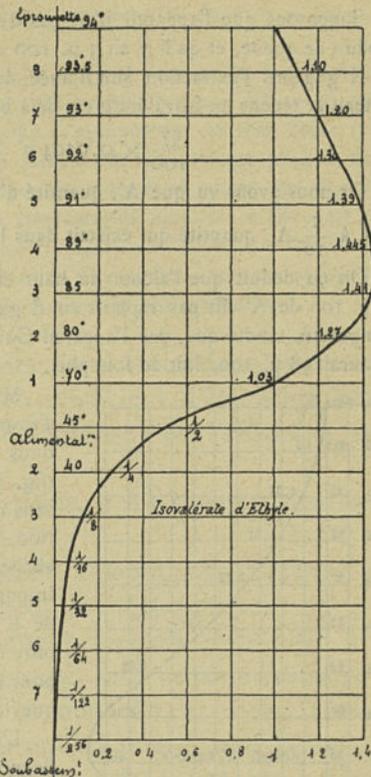


Fig. 376

Supposons que l'appareil n'ait pas de pasteurisation, laquelle est sans effet sur ce produit de queue, et qu'il y ait 3 p. 100 d'extraction au plateau à 75°.

Négligeons l'extraction simultanée de 2 à 3 p. 100 d'huiles à 40°, parce qu'à ce plateau la teneur en isovalérate est déjà beaucoup affaiblie.

$$\frac{97}{100} \times 0.0504 a' + \frac{3}{100} \times 1.17 a' \quad A'$$

Or nous avons vu que A', quantité d'isovalérate restant dans le flegme épuré, était égal à $\frac{1}{20} A'$, quantité qui existait dans le flegme brut.

On en déduit que l'alcool du haut emporte 58 p. 100 de A', et l'extraction à 75° 42 p. 100 de A'. Et par rapport au flegme brut, l'alcool rectifié contient 2.90 p. 100 d'impureté, tandis que, par l'appareil Guillaumes, qui n'a pas l'épuration préalable, il y n aurait 58 p. 100, soit 20 fois plus.

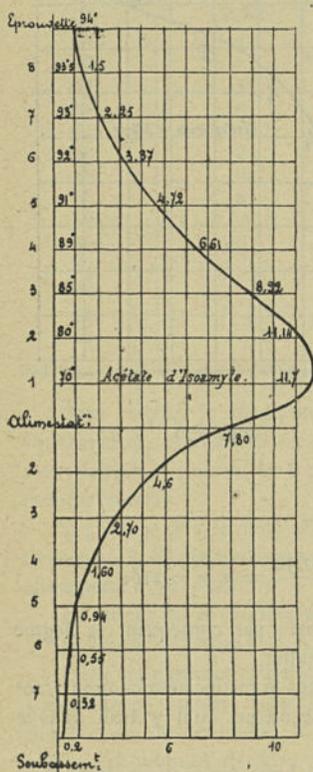


Fig. 377

M. Barbet a fait la même étude pour l'acétate d'isoamyle; les calculs se font de la même façon et nous allons nous contenter de donner le diagramme (fig. 377) pour l'épuration et les résultats définitifs sans répéter tout au long les détails de la démonstration. Le diagramme a été fait en prenant pour *a* des abscisses dix fois plus petites, parce qu'avec cette impureté là, pour laquelle le changement de signe de K' a lieu à 70°, la zone de concentration maxima offre une teneur considérablement plus accentuée que pour l'impureté précédente. Là aussi nous avons admis que les plateaux n'avaient que 50 p. 100 d'efficacité.

L'impureté à l'éprouvette de tête étant *a*, les flegmes épurés conservent 0,2 *a*, de sorte que l'épuration de fractionnement, en supposant toujours que l'on prélève 7 p. 100 de têtes et 93 de flegmes épurés devient :

$$7 a + 93 \times 0,2 a = 100 A.$$

$$7 a + 18,6 a = 100 A.$$

Ce qui donne 27,3 d'extraction par en haut et 72,7 d'impureté restant dans le flegme épuré.

Pour cette impureté-là l'épuration n'a plus beaucoup d'action, mais il eût semblé, a priori, qu'il ne dût pas en avoir du tout, parce que, dans les hauts degrés, K' atteint — 2.

Au rectificateur, grâce à cette haute valeur de K' la rétrogradation des 30 plateaux va avoir une efficacité très grande, car la teneur du plateau supérieur, par rapport à celle à 93° qui est égale à 2,25 *a* va être :

$$2,25 a \times \frac{30}{0,66} = 2,25 a \times 0,000.00525 = 0,000.011,8 a. \text{ Donc négligeable.}$$

L'extraction se fera entière par le plateau à 75°. Supposons que l'on retire 3 p. 100. Quel sera le taux *x* de l'impureté à ce plateau ?

$$\frac{3}{100} x = \frac{72 \cdot 7}{100} A x \quad 24.2 A$$

Il en résulte que la zone maxima à cet appareil est moins concentrée qu'à l'épuration.

A celui-ci en effet, le diagramme nous donne une concentration de 11,7 a. Or nous avons $27.3 a = 100 A$. Donc $11,7 a = 43 A$.

Tandis qu'au rectificateur il n'y a que 24,2 A, à cause de l'extraction. Cette constatation a amené M. Barbet à la conviction qu'il y avait intérêt à *pratiquer déjà une certaine extraction à l'épurateur continu, à la base des plateaux de concentration des têtes*. Selon qu'il s'agira d'épuration de flegmes ou d'épuration directe des vins, l'étage où l'on aura intérêt à faire l'extraction variera ; cet étage dépendra aussi de la nature des flegmes. mais on voit que le degré de l'extraction devra être compris entre 60 et 80° ; on n'a aucun intérêt à aller plus haut, *car les impuretés de la nature de l'isobutyrate d'éthyle sont par ce fait, produits de tête*, et n'ont aucun besoin d'extraction, pourvu qu'on ne supprime pas l'épurateur continu dont on vient de montrer le rôle nécessaire.

M. Barbet vise surtout trois points dans la critique ci-dessus : 1° Le volume des extractions ; 2° Le coefficient d'épuration pour les impuretés considérées ; 3° Le nombre et l'efficacité des plateaux.

1° En ce qui concerne le premier point, il n'y a rien à discuter ; tout dépend de ce qu'on veut faire.

2° Le coefficient K, de Sorel, pour l'isobutyrate d'éthyle est de 0,95 à 95°, de 0,90 à 96° et de 0,85 au maximum pour 97°. — L'alcool extrait au haut de la colonne principale pour aller à la colonne des produits de tête a toujours, sauf accident sérieux à l'appareil, 96°, 7. 96°, 8 ou 96°, 9 et non 96°, 3 ; il est certain que ces quelques dixièmes en plus ont ici une grande influence.

L'alcool à 93° a un coefficient $K = 1,0115$; à 95°, 1,005 ; à 96°, 1,00287 ; à 97°, 1,000178. La différence avec $K = 1$ est donc considérablement moindre que pour l'isobutyrate d'éthyle. En outre, plus le degré de l'alcool s'élève, plus son coefficient K se rapproche de l'unité, tandis que pour l'isobutyrate d'éthyle, c'est absolument le contraire à partir de 93°, 5 ou $K = 1$. Il n'y a donc, d'après M. Guillaume, aucune analogie à établir entre ces corps et l'eau.

3° Quant au nombre de plateaux, ce n'est pas 30 plateaux seulement que met M. Guillaume au-dessus de l'extraction à 93 — 94°, mais 40 et même 50. Dans un appareil marchant normalement il y a au moins 40 plateaux au-dessus de 94° — 15 à 18 au-dessus de 96°, 5. Il faudrait donc appliquer un coefficient K' 0,94 sur 4 plateaux, de 0,90 sur 6 à 8 plateaux, de 0,92 sur 12 plateaux et de 0,84 sur les 15 à 18 plateaux au moins qui restent.

4° Enfin, le coefficient d'efficacité des plateaux choisi par M. Barbet, ne s'applique que dans le cas d'organes reconnus défectueux aujourd'hui. M. Guillaume n'obtient jamais moins de 96°, 7 à 97°, et M. Barbet lui-même recommande, depuis 7 à

8 ans déjà, que son pasteurisé (pris au 3^e et 4^e plateau) ne descende jamais au-dessus de 96°,5 ; l'efficacité de ses plateaux est donc beaucoup plus grande.

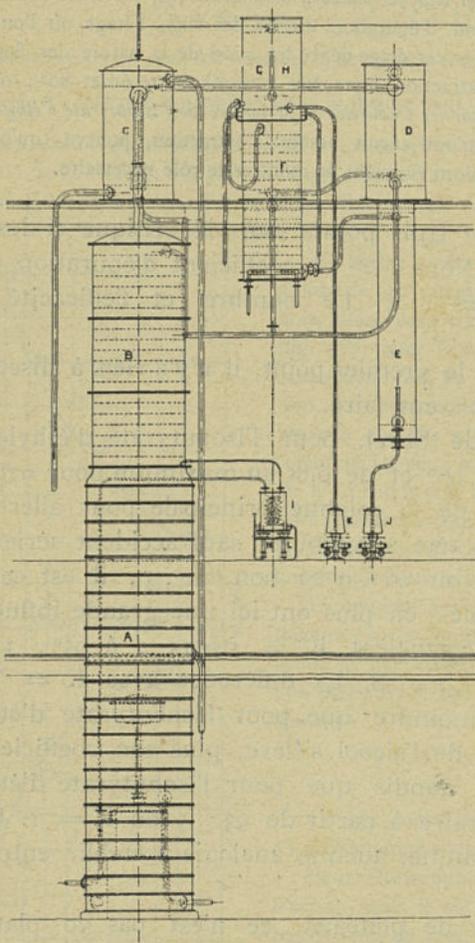


Fig. 378 — Colonne distillatoire Crépelle-Fontaine avec séparation, finale des produits de tête.

De tout ce qui précède, nous pouvons conclure que l'extraction 93° de M. Guillaume peut rendre service à la condition d'observer les précautions qu'il indique. Il est de toute évidence, du reste, que les extractions de produits de queue ne sauraient être trop nombreuses tant qu'on constate en pratique une amélioration suffisante pour conserver le supplément de travail qu'occasionnent ces extractions.

586. *Appareil distillatoire perfectionné produisant en premier jet de l'alcool*

rectifié. (Crépelle-Fontaine). Cette colonne comprend les organes suivants :

- A. La colonne de distillation proprement dite ;
- B. La colonne de concentration ;
- C. Le Chauffe-vin ;
- D. Le condenseur ;
- E. Le réfrigérant à alcool ;

- F. La colonne d'épuration finale ;
- G. Le condenseur des éthers ;
- H. Le réfrigérant des éthers ;
- I. Un réfrigérant double pour les huiles et l'épreuve d'épuisement des vinasses ;

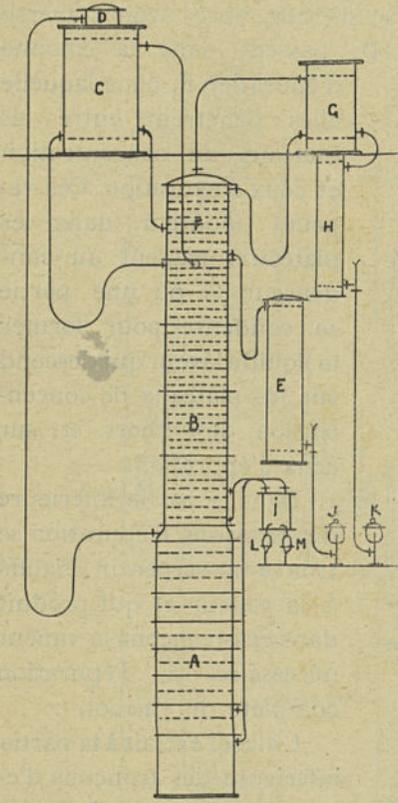


Fig. 379

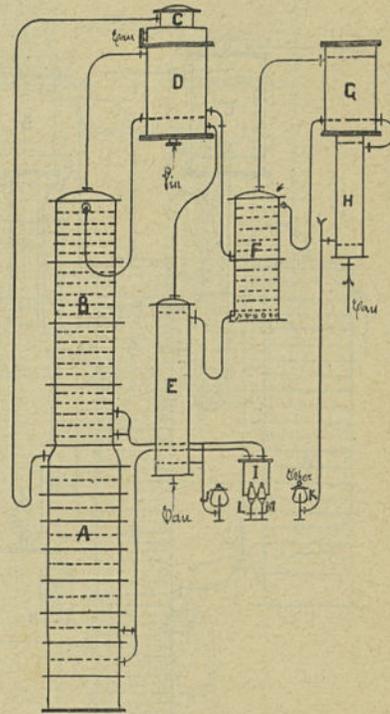


Fig. 380

- J. L'éprouvette d'alcool bon goût ;
- K. L'éprouvette des éthers ;
- L. et M. Les éprouvettes d'huiles et d'épuisement.

Le vin après son passage dans le chauffe-vin et au besoin dans un récupérateur chauffé par les vinasses entrées dans la colonne de distillation A pour sortir de la partie inférieure complètement épuisé d'alcool. L'épuisement est constaté par le degré accusé à l'éprouvette M, par le liquide provenant de la conden-

sation d'une partie de vapeur prélevée sur le soubassement et conduite au serpentin réfrigérant contenu dans I.

Les vapeurs d'alcool et d'éther se concentrent dans les tronçons de rectification B. Les huiles sont refoulées par la rétrogradation jusqu'à la partie inférieure de ces tronçons, d'où elles sont extraites et conduites au réfrigérant I et à l'éprouvette L.

Les vapeurs concentrées d'alcool et d'éther, après avoir traversé le chauffe-vin C et le condenseur D, passent dans la colonne d'épuration F, dans laquelle elles pénètrent entre les plateaux de concentration et ceux d'épuration. Ces vapeurs montent dans les plateaux, passent au condenseur G où une partie se condense pour former le liquide laveur qui descend sur les plateaux de concentration des éthers et sur ceux d'épuration.

Dans la partie inférieure des tronçons d'épuration se trouve un serpentin chauffé à la vapeur et qui produit dans ces tronçons la vapeur nécessaire à l'épuration complète de l'alcool.

L'alcool extrait à la partie inférieure des tronçons d'épuration est conduit au réfrigérant E et à l'éprouvette J.

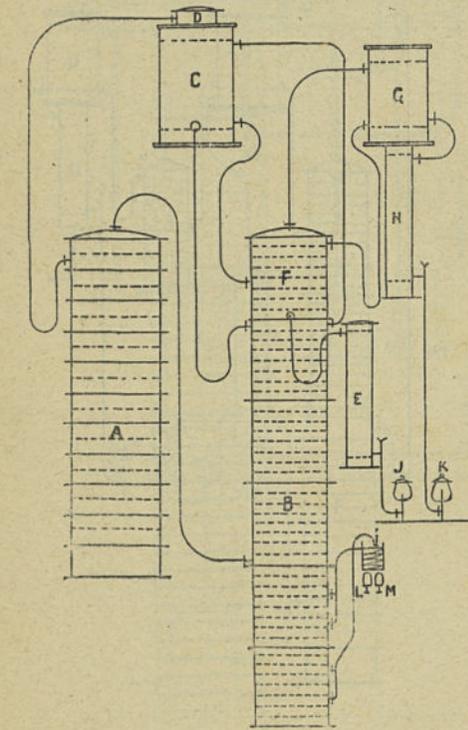


Fig. 381

Les fig. 379, 380, 381, représentent diverses dispositions de la colonne rectificatrice Crépelle-Fontaine, avec épuration finale. Dans la fig. 379 la colonne d'épuration finale F est posée sur la colonne de concentration B; dans la fig. 380, la colonne F est placée à la même hauteur que la colonne B; enfin, dans la fig. 381, la colonne B est à côté de la colonne A et elle est surmontée de la colonne F.

387. *Rectificateur continu Crépelle-Fontaine* (brevet du 12 juillet 1899). — C'est dans la maison] Louis Fontaine, actuellement Crépelle-

Fontaine, que la rectification continue a été créée. C'est grâce aux efforts persévérants et aux énormes sacrifices que fit cette maison, que l'on put arriver à des résultats véritablement écono-

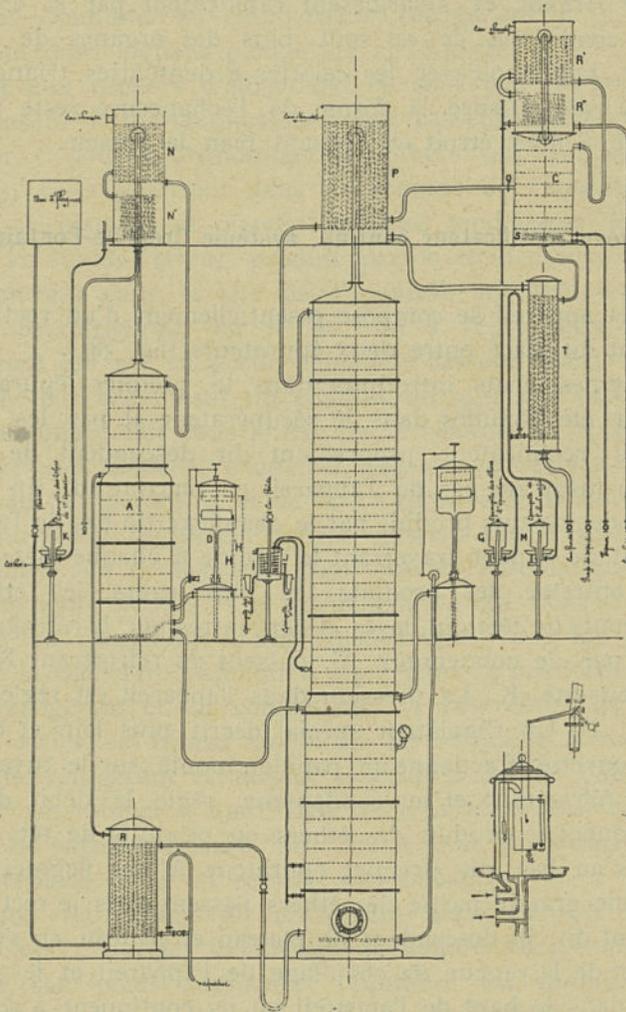


Fig. 381. — Rectificateur continu Crépelle-Fontaine avec épuración finale à haut degré (brevet de juillet 1899).

miques. La collaboration de son ingénieur, M. Pierre, dont la grande connaissance pratique des appareils de distillerie n'a d'égale que son extrême modestie, a beaucoup contribué à la mise au point des rectificateurs continus.

Tous les plateaux des appareils Crépelle-Fontaine sont munis de calottes à dentelures triangulaires (fig. 339) posées au-dessus de cheminées longues. Ces calottes divisent très bien la vapeur. Dans les calottes peignes, les entailles atteignent à l'état neuf, 7 à 8 mm. de largeur et s'élargissent rapidement par la corrosion. Dans ces conditions, ce ne sont plus des organes de division de vapeur, tandis qu'avec les calottes à dentelures triangulaires, quelle que soit l'usure, la forme de l'échancre reste toujours triangulaire à fond étroit et divisant bien la vapeur.

Nouveau rectificateur continu, système Crépelle-Fontaine

588. Cet appareil se compose essentiellement d'un rectificateur proprement dit placé entre deux épurateurs (fig. 381).

Les flegmes bruts introduits dans le premier épurateur A, après avoir été chauffés dans le récupérateur R par les vinasses sortant du rectificateur proprement dit, descendent de plateau en plateau jusqu'en bas de l'appareil en rencontrant un courant ascendant de vapeur, produit par le chauffage du bas de l'appareil. Ce courant de vapeur traversant le liquide à chaque plateau volatilise et entraîne les produits les plus légers, les éthers ou mauvais goûts de tête qui, lavés et concentrés par la rétrogradation produite par le condenseur N', passent au réfrigérant N" et de là à l'éprouvette K. La pression dans l'appareil est réglée par le régulateur D. Un régulateur spécial décrit plus loin et combiné avec l'éprouvette K actionne un papillon monté sur le tuyau d'eau allant au réfrigérant et au condenseur, règle le débit d'eau et par conséquent le produit des éthers ou produits de tête.

Arrivés au bas du premier épurateur A, les flegmes débarrassés d'une grande partie des éthers passent dans le rectificateur proprement dit. Ils descendent de plateau en plateau en s'épuisant au contact de la vapeur de chauffage de l'appareil et les produits montent dans le haut de l'appareil où ils continuent à se classer par suite de la rétrogradation produite par le condenseur P.

Dans le haut on trouve de l'alcool liquide concentré mélangé aux éthers qui ont échappé à l'action du premier épurateur et des vapeurs de cet alcool qui montent au condenseur P. L'extraction des huiles se fait par des prises dans la zone où elles sont le plus concentrées et elles sont conduites au réfrigérant I à la suite duquel se trouve une éprouvette.

Le liquide épuisé à sa sortie traverse le récupérateur R où il chauffe les flegmes entrant dans le travail, et passe ensuite à l'aqueduc.

L'épuisement de ce liquide en alcool est contrôlé par la condensation d'une partie de vapeur prélevée dans le bas de l'appareil et conduite au condenseur réfrigérant J muni d'une éprouvette dans laquelle plonge un alcoomètre.

Quant aux vapeurs d'alcool qui ne sont pas condensées dans le condenseur P du rectificateur, elles passent dans le deuxième épurateur C pour y abandonner les éthers qui leur sont encore mélangés. Elles pénètrent dans la colonne de l'épurateur en Q, montent de plateau en plateau jusqu'au condenseur R'' en traversant le liquide laveur produit par le condenseur; les éthers se concentrent dans la tête de l'appareil, montent au condenseur R', se réfrigèrent en R'' et vont à l'éprouvette G, tandis que l'alcool qui est en partie dépouillé descend dans le bas de la colonne en rencontrant un courant de vapeur d'alcool produit par un chauffage fait dans le bas de la colonne en S, qui achève sa purification. L'alcool condensé sort de ce second épurateur, se rend au réfrigérant T et de là à l'éprouvette M qui peut être aussi munie d'un régulateur spécial agissant sur la quantité d'eau à introduire aux condenseurs pour obtenir automatiquement les fractionnements désirés. Les régulateurs d'eau dont il est parlé ci-dessus se composent d'une balance dont l'axe du fléau est calé sur la tige d'un papillon *a* placé dans la conduite d'eau qui va au réfrigérant et au condenseur. A l'extrémité de l'un des bras de levier se trouve suspendu un récipient *b* recevant le coulage du réfrigérant et laissant évacuer le liquide dans l'éprouvette par un robinet *c*, une Valve U ou un obturateur quelconque placé à sa partie inférieure. Sur l'autre bras de levier se trouve un contrepoids *d* ou un ressort antagoniste.

Lorsque le coulage du réfrigérant augmente, le débit du petit robinet *c* devient insuffisant, le liquide s'accumule dans le récipient, son poids augmente : l'équilibre est rompu, le récipient baisse, le papillon s'ouvre en permettant à une plus grande quantité d'eau de passer au réfrigérant et au condenseur, ce qui a pour conséquence de diminuer le coulage. Si le coulage diminue, l'effet inverse se produit, le niveau du liquide dans le récipient baisse, son poids diminue, l'action du contrepoids l'emporte, le papillon se ferme, une moins grande quantité d'eau passe au réfrigérant et au condenseur, et par conséquent le coulage augmente.

Le réglage du débit se fait par le robinet *c* ou l'obturateur ou valve *U*, ou par le contrepoids, qui est monté vissé sur son bras de levier pour pouvoir être déplacé avec la plus grande précision.

Quant aux régulateurs spéciaux de pressions dans les appareils il sont établis de telle sorte que l'on peut à la marche, obtenir à volonté toutes les pressions intérieures que l'on peut désirer dans les limites que l'on s'est donné. A cet effet, ces régulateurs ont une cuvette supérieure d'une hauteur suffisante pour permettre les positions limites des réglages que l'on se propose, plus le jeu du flotteur.

La tige du flotteur est filetée dans toute sa partie supérieure et est vissée dans un écrou solidaire du levier actionnant le papillon. Cette tige est munie d'un petit volant à main. Il est clair que l'on pourra, en tournant le volant, régler le flotteur pour toutes les positions de *H* à *H'* et donner à l'intérieur de l'appareil, une pression correspondante à cette hauteur. Ce régulateur permet de rechercher même pendant la marche avec la plus grande précision, le régime de pression le plus convenable pour l'appareil.

589. *Rectificateur continu des vins, type 1900, de M. Barbet.* — Nous avons dit qu'on pouvait considérer les vins comme des flegmes extrêmement dilués et que les mêmes principes généraux pouvaient s'appliquer à la rectification des flegmes et à celle des vins. Il y a pourtant une différence pratique qui résulte de cette grande dilution, c'est-à-dire du bas degré du vin.

Dans le rectificateur des flegmes, le maximum de concentration des huiles amyliques se trouve quelques plateaux plus bas que l'entrée du flegme à rectifier (*b b*, fig. 344, *r''*, fig. 345) tandis que, au continu des vins (fig. 353), l'entrée des vins a lieu plusieurs plateaux au-dessous du maximum de concentration des huiles (extractions *SS'*), ce qui provient uniquement de ce que le liquide à rectifier est à bas degré. Il en résulte que *les vapeurs alcooliques dégagées du vin sont obligées de traverser la zone de fusel concentré* avant d'aller se rectifier définitivement au bout de l'appareil, et, dans ce passage, elles se souillent et deviennent plus difficiles à purifier.

M. Barbet s'est appliqué à rétablir les choses dans l'ordre qu'elles ont en rectification des flegmes, sans pour cela augmenter la dépense de vapeur.

C'est l'épurateur des vins (fig. 382) superposé aux tronçons d'épuisement B de la colonne à vin. Les tronçons B se trouvent séparés des tronçons C par un plateau plein, de sorte que les vapeurs qui montent de B ne peuvent entrer dans C, mais se

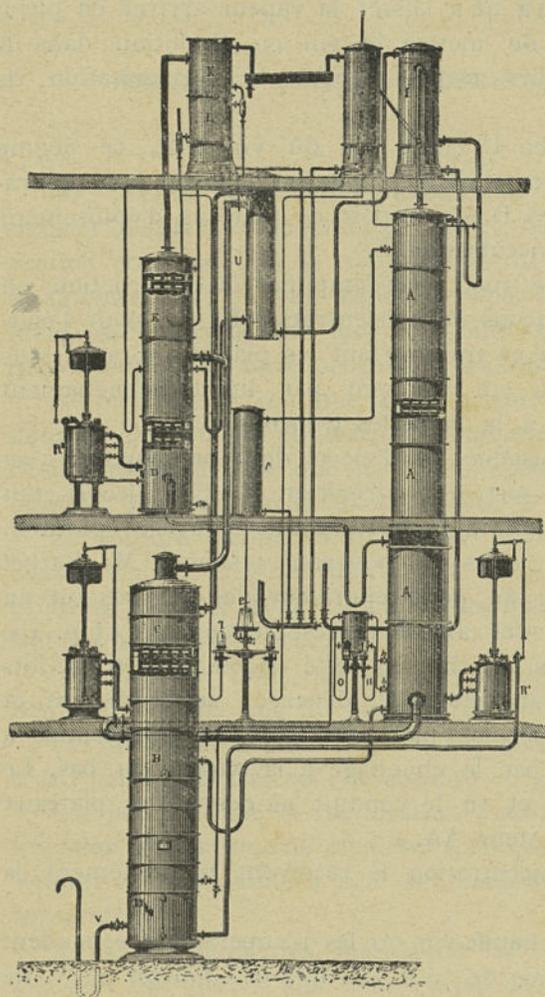


Fig. 382

Rectificateur continu des Vins, type 1900
(Exposition universelle, classe 55).

dirigent par un gros tuyau dans les tronçons inférieurs du rectificateur proprement dit A. En sortant de celui-ci, les vapeurs d'alcool pur, à 96°, se rendent au condenseur I et au réfrigérant J.

Dans l'appareil des fig. 353 et 354, p. 907, on chauffe le vin jusqu'à un point tangent à l'ébullition, avant de le laisser entrer dans l'épurateur, ce qui se fait par un tubulaire M chauffé avec de la vapeur prélevée sur le soubassement du rectificateur. Dans le nouveau modèle, au lieu de prendre la vapeur sur le soubassement, M. Barbet la prend en haut de la colonne C d'enlèvement des produits de tête du vin.

Les vapeurs qui s'en dégagent sont des vapeurs alcooliques de 35 à 45° en moyenne, selon le degré du vin, et ces vapeurs ont de 96 à 98° de température. En chauffant U avec ces vapeurs, leur condensation fournit un second contingent de flegme, et cela, comme précédemment, sans aucune

dépense supplémentaire de combustible par rapport au modèle antérieur, puisque d'une façon comme de l'autre, il y a le même nombre de calories à fournir pour compléter l'échauffement du vin. On y trouve même un avantage pratique, c'est qu'il n'y a plus de besoin de réglage; on n'a qu'à laisser la vapeur arriver en plein, elle ne risquera plus de mettre le vin en ébullition dans le tubulaire, chose toujours fâcheuse pour la régularisation de circulation de celui-ci.

Le flegme produit en U étant issu du vin brut, ce flegme contient des produits de tête; il est purifié dans un petit épurateur continu des flegmes D E, composé de plateaux d'épuisement D et de plateaux de concentration E.

On voit tout de suite que, pour simplifier la construction, on se sert des mêmes tronçons de concentration E, que pour l'épuration des vins, et cela en transportant les plateaux E au-dessus de D. Les vapeurs du vin viennent par un embranchement reprendre leur position à la base des tronçons E.

Il y a encore un troisième lot d'alcool dont on dispose: c'est le non-pasteurisé qui sort du réfrigérant J. Cet alcool était jusqu'ici renvoyé dans le vin pour subir une nouvelle épuration à l'épurateur des vins; dans ce nouveau système, M. Barbet l'envoie par un robinet au petit épurateur des flegmes ou au plateau d'alimentation. Cet alcool représente de 10 à 15 p. 100 de l'alcool contenu dans le vin. De cette façon, les trois lots de flegmes, obtenus sans nouvelle dépense, se réunissent et descendent de concert sur les plateaux D, où ils sont soumis à une certaine ébullition par le chauffage à la vapeur du bas. Le flegme sort bien épuré et on le conduit au-dessus des plateaux d'épuisement du rectificateur AA.

Les plateaux de concentration E reçoivent naturellement la rétrogradation de KL.

Etant donné que le chauffe-vin ou les récupérateurs échauffent rarement le vin au-dessus de 70 à 75°, il y a à fournir en V, de 20 à 25°, et ce chauffage condensera une quantité de flegme qui contiendra, suivant le degré alcoolique du vin, de 30 à 40 p. 100 de l'alcool contenu dans le vin. Cet appoint ajouté au flegme de tout à l'heure et aux 10 à 15 p. 100 de non pasteurisé, donnera une quantité totale de flegme correspondant à très peu près à la teneur totale du vin en alcool.

Le régulateur figure à droite du dessin, règle l'admission de la vapeur dans la colonne B; celui de gauche, sur le même

plancher, agit sur la valve qui règle le passage des vapeurs de B en C ; enfin un troisième régulateur sert au chauffage de l'épurateur de flegme D E.

Rectification continue et Rectification discontinue

590. Chemin faisant nous avons été amenés plusieurs fois à signaler d'après les inventeurs mêmes, les avantages de la rectification continue sur la rectification discontinue : Suppression de la chaudière ; plus de dégustation par l'ouvrier, freinte presque nulle, suppressions des moyens goûts, et comme conséquence, production d'une forte proportion d'alcool bon goût.

La rectification continue ayant encore beaucoup d'adversaires dont la plupart, les industriels notamment, sont complètement désintéressés, il n'est que juste que nous citions également leur opinion. Voici comment nous pouvons la résumer.

Le continu donne 96 p. 100 de bon goût, c'est vrai ; mais l'épuration des flegmes enlève 8 à 12 p. 100 de leur volume en produits de tête et l'extraction des queues en enlève 4 p. 100, soit au total 16 p. 100.

On n'obtient donc, en réalité au continu, que 84 p. 100 de bon goût, tandis que les discontinus donnent davantage.

Les discontinus bien faits ne dépensent pas plus de 10 à 12 l. d'eau par hecto d'alcool ; le continu en prend 3 fois autant.

Les partisans de la rectification continue reprochent à la rectification discontinue de n'enlever qu'imparfaitement les impuretés. Voyant donc comment agit la rectification sur les différentes impuretés.

Il est toujours très intéressant de comparer entre elles les analyses des divers lots d'une rectification. Malheureusement les documents sont rares à ce sujet ; nous ne connaissons qu'un travail de M. Mohler exécuté sur les produits d'une rectification de flegmes de mélasses faite dans un discontinu. Nous reproduisons ici le tableau résumant le travail de ce chimiste.

ANALYSE DE FLEGMES, D'ALCOOL DE CŒUR ET DE MAUVAIS GOÛTS, PROVENANT
D'UNE DISTILLERIE TRAITANT LES MÉLASSES DE PÉTTERAVES

	FLEG.	COEUR	MAUV G.
Extrait	0,04	8	0
Alcool	44,7	95,9	89
Acides (en a. acétique)	0,792	0,060	0,060
Ethers (en acétate d'éthyle)	0,246	0,070	4,780
Aldéhydes (en a. éthylique).	0,045	0,002	5,925
Furfurol.	0,0015	0	0,002
Alcools supérieurs (en alcool isobutylique)	1,300	0,010	24,200
Ammoniaques et amides (en Az. H ³)	0,0106	0,0027	0,156
Bases pyridiques et alcaloïdes (en Az. H ³)	0,001	0,0004	0,0054
Total des produits étrangers à l'alcool éthylique.	2,3961	0,1451	35,1284
Coefficient d'impureté	0,65	0,015	4,11

D'après ce tableau, le flegme contenait 0 g. 246 d'éther pour 45°5 soit 0 g. 54 pour 100 degrés ; le cœur de rectification en contient 0 g. 073, soit seulement 7 fois moins que le flegme. L'élimination des éthers est donc, d'après ce tableau, fort imparfaite. En examinant les points d'ébullition, on voit que celui de l'éther acétique est de 77°, tandis que celui de l'alcool est de 78°, soit seulement 1° de différence ; d'autre part, en examinant les coefficients K, de M. Sorel, page 933, et les coefficients de rectification K', de M. Barbet, on voit qu'une épuration à bas degré bien faite aurait dû donner un meilleur résultat.

Il semble donc que pour l'élimination des produits de cette nature la rectification discontinue soit en défaut parce qu'elle arrive trop vite au haut degré. Cependant le coefficient K a encore une valeur de 2,4 à 90° et de 2,1 à 96°, en sorte que l'épuration devrait être plus profonde. M. Barbet accuse le rectificateur discontinu de manquer de méthodicité et le condenseur de ramener constamment des produits de tête dans la colonne (p. 888).

Nous avons vu que le condenseur généralement employé avait en effet ce défaut, et nous avons dit qu'on pouvait y obvier par l'emploi d'un condenseur rationel. Quant au défaut de méthodicité qui constituerait pour la rectification discontinue un cas d'infériorité par rapport à la continue, nous devons dire que nous ne possédons encore pour la rectification continue aucune analyse complète comme celle que nous venons de donner.

En examinant ces mêmes analyses, on voit que l'alcool de cœur renferme $\frac{0.100}{0.12} = 50$ fois moins d'aldéhydes et $\frac{2.90}{0.01} = 290$ soit en chiffres ronds 300 fois moins d'alcools supérieurs. L'élimination des aldéhydes paraît donc facile, ce qui s'explique aisément surtout pour l'aldéhyde éthylique dont le point d'ébullition est de 22° et dont le coefficient K est très grand. Par contre, l'élimination des produits de queue est très satisfaisante, l'alcool amylique étant retenu énergiquement par la rétrogradation.

A propos de l'élimination des produits de tête en général, un distillateur nous a tenu le raisonnement suivant :

Prenez de l'alcool de bourse de bonne qualité, enlevez-lui par distillation sur des plateaux 2 ou 3 p. 100 de têtes et dégustez-le. Vous remarquerez que l'alcool n'est plus marchand, qu'il a un goût de queue qui le rendrait invendable. Remettez les 2 ou 3 p. 100 de tête dans l'alcool distillé, et il redevient vendable. Les produits de tête masquent donc les produits de queue et donnent un tout convenable.

D'après ce distillateur l'effet de la pasteurisation est le même; l'alcool dit pasteurisé a toujours une odeur de queue. Mais au permanganate l'alcool est beaucoup plus pauvre, parce que ce réactif est surtout réduit par les têtes et très peu par les queues.

Ainsi donc d'après cela la pasteurisation consisterait à prélever de l'alcool à un endroit de la colonne où les produits de tête et les produits de queue forment un mélange en proportions convenables. Cette explication concorde assez bien avec ce fait que la pasteurisation réussit surtout avec des alcools provenant de matières premières à odeur agréable.

M. Barbet résume comme suit les résultats de sa rectification continue perfectionnée :

	Pour extra-fin ordinaire	Pour extra-neutre
Produits de tête de l'épurateur . . .	3 à 5 p. 100	8 à 10 p. 100
Produits de queue.	0,5 à 1,5 —	2 à 4 —
Non pasteurisé.	5	15
Pasteurisé	93 à 99	85 à 90 —

Consommation de vapeur par hectol. d'alcool environ 200 k.

M. Guillaume accuse à peu près les résultats suivants comme obtenus avec ses appareils :

Bon goût achevé. 90 p. 100
 Mauvais goûts. 8 à 10 p. 100

Les 10 p. 100 d'impuretés se répartissent à peu près comme suit :

Aldéhydes, éthers simples (91 — 95°).	1,0
Ethers composés.	7,0
Huiles essentielles	<u>2,0</u>
	10,0

Freinte à la rectification

391. On n'a écrit que fort peu de choses sur la freinte à la rectification ; la question a cependant une grande importance. La première explication des pertes a été donnée par Savalle. Celui-ci a admis que l'alcool pouvait se détruire pendant la rectification, en se transformant en produits divers, éthers et carbures. M. Barbet a admis la possibilité de ces réactions, et s'est demandé s'il n'y aurait pas une dissociation assez intense pour que l'alcool, surtout en présence de certaines impuretés qui la favorisent, se décomposât en eau et en carbures gazeux, D'après M. Barbet, la principale cause de la freinte est due au contact direct des flegmes avec les serpentins de chauffage, et pour un même appareil, la freinte est d'autant plus forte que le produit à rectifier est moins pur. M. Sorel a vivement combattu cette hypothèse de ces réactions si extraordinaires que nul chimiste n'a jamais constatées. D'après lui, l'influence des erreurs de l'alcoomètre suffit à rendre compte d'une grande partie des pertes à la rectification sans recourir à une explication hypothétique basée sur une destruction de l'alcool. A la fin d'une rectification, on vide l'appareil dès que l'alcoomètre accuse 0°. Or, l'alcoomètre est très influencé par la tension capillaire des liquides dans lequel il est plongé, et ne donne d'indication exacte que dans de l'eau alcoolisée pure ; s'il fournit des indications trop faibles en présence d'alcool chargé d'huile, l'opération est arrêtée trop tôt et la perte est d'autant plus forte qu'il restait plus d'alcool dans la chaudière et la colonne, quand on a commencé à laisser tomber le degré.

D'après cette citation, M. Sorel admet qu'on lâche à l'aqueduc les eaux résiduaires des rectificateurs sans se rendre compte de leur composition. Ce n'est cependant pas ainsi que l'on opère dans un travail bien suivi. Voici comment on procède: Les plateaux ayant été vidés par un dispositif quelconque, on prélève par le tube à niveau un échantillon d'eau résiduaire

dans un ballon de deux litres en verre mince, on bouche immédiatement avec un bouchon en caoutchouc et on plonge le ballon dans l'eau froide. Ce liquide est ensuite étudié au point de vue de sa réaction alcaline ou acide ; de sa teneur en alcool, etc.... En le distillant dans un alambic, on peut déterminer exactement sa richesse alcoolique, puisque d'après M. Sorel lui-même, le contenu de la chaudière contient encore de l'alcool après le départ des huiles (*Distillerie Française*, n° 379, 1891). Quand on fait l'essai d'un rectificateur, il faut naturellement distinguer entre la freinte proprement dite et la perte d'alcool dans les eaux résiduelles, déterminée comme il a été expliqué ci-dessus ; de cette façon les erreurs dues à l'alcoomètre n'ont plus rien à faire dans la question. En opérant ainsi, on trouve toujours une freinte ; d'où vient-elle ? M. Sorel n'admet pas la destruction d'alcool pendant la rectification, parce que personne n'a jamais pu la constater. La raison ne nous paraît pas suffisante. Cette destruction doit être en effet très difficile à constater, parce que l'analyse chimique présente ici des difficultés considérables et qu'il s'agit toujours de faibles quantités. Dans la fabrication et le raffinage du sucre, il y a également des pertes indéterminées ; la transformation du sucre en non-sucre est constante dans toutes les phases du travail. Dans le raffinage surtout, où on opère sur des quantités considérables, cette mystérieuse disparition du sucre a préoccupé les chercheurs, à tel point qu'on a établi là à côté de la comptabilité du sucre, celle du *non-sucre*, dont on peut ainsi observer la formation lente. Pourquoi l'alcool, qui est une matière organique aussi bien que le sucre, ne peut-il pas se détruire par le contact prolongé avec une surface métallique à haute température, tout aussi bien que le sucre ? Il faudrait également, pour l'alcool, pouvoir suivre d'un côté la disparition de l'alcool éthylique ou *éthanol* et de l'autre, la production de *non-éthanol*. Mais la chose est impossible : analyser un sucre est, avec le merveilleux instrument d'optique dont on dispose, une opération à la portée de tout le monde, tandis qu'en l'état actuel de nos connaissances, pour faire la même opération sur l'alcool, il faudrait un savant doublé d'un grand artiste. Du reste, les méthodes sont à trouver ; tout est ici encore à l'état d'enfance.

M. Sorel, partant de l'hypothèse que les distillateurs s'en rapportent au degré à l'éprouvette, pour arrêter une opération, examine l'influence du genre de colonne sur la freinte : il arrive

à cette conclusion que les pertes varient notablement avec la colonne de rectification qui surmonte la chaudière : la construction et le fonctionnement de la colonne sont les seules causes des pertes, les pertes variant avec la forme de la colonne de rectification sont uniquement imputables à sa disposition et à son fonctionnement. Tandis que les colonnes à calettes donnaient des pertes de 5, 6 et même 8 %, la colonne à plateaux perforés donne une perte beaucoup moindre (1,78) et l'appareil rectangulaire a donné 0,28. Cette classification est très commode, mais sur quoi repose-t-elle ? Sur l'hypothèse que la rectification n'est pas contrôlée, sur l'hypothèse qu'à chaque rectification on arrête l'opération avant qu'elle soit terminée ; c'est cette hypothèse qui conduit l'auteur à cette conclusion un peu singulière. Je crois qu'il faut chercher des raisons plus sérieuses.

On a remarqué, comme le dit M. Barbet, que la freinte est d'autant plus forte que le produit à rectifier est moins pur ; par conséquent, il faut bien admettre qu'il y a dans la rectification des destructions occasionnées par l'action de la chaleur sur l'alcool, surtout en présence des impuretés.

F. Pampe a le premier signalé l'influence de la pression régnant dans les appareils à distiller et à rectifier sur la freinte en alcool. Il a remarqué qu'avec une forte pression (2 m. d'eau par exemple), il se formait une notable proportion de produits étrangers. Il a remarqué également, comme d'autres, que la freinte était d'autant plus grande qu'il y avait plus d'impuretés en présence. Dans une fabrique de beurre de coco, où l'on récupérait toujours le même alcool par distillation et rectification, il se formait constamment une forte proportion d'aldéhydes et de produits de queue, quoique l'alcool primitivement employé fût très pur. On peut se rendre compte de ces influences en introduisant dans un solide alambic, de l'alcool très pur avec des acides et des matières azotées et plaçant sur le tube abducteur un robinet qu'on ferme plus ou moins, pour avoir dans la cornue, une certaine pression constatée par un manomètre. D'après Pampe, il y a également destruction, au contact de la paroi chaude des serpentins de chauffe, mais ce sont surtout la pression dans l'enceinte et la présence des impuretés qui occasionnent la freinte.

CHAPITRE XXXIV

Traitement des alcools par les agents physiques et chimiques.

592. On a depuis longtemps cherché à compléter le travail de la rectification en traitant les flegmes ou les alcools achevés par certaines matières agissant chimiquement ou physiquement sur les impuretés. Le plus généralement c'est sur les flegmes qu'on opère, auquel cas ce traitement est une opération préparatoire à la rectification.

Les impuretés qu'on a surtout pour but d'éliminer par le traitement chimique sont les aldéhydes, les acides et les combinaisons de ceux-ci avec les alcools, c'est-à-dire les éthers.

Nous avons déjà parlé des procédés pour l'élimination de l'aldéhyde éthylique (12). On a essayé de la transformer en alcool par l'hydrogénation au moyen de l'électrolyse ou l'action de la poudre de zinc, mais c'est surtout pour la transformer par oxydation en acide acétique qu'on a essayé un grand nombre de substances. Mais l'action de ceux-ci se portant également sur l'alcool, on reforme de l'aldéhyde en même temps qu'on transforme en acide celle qui existait primitivement. Le corps oxydant le plus employé est le chlorure de chaux. Pour les flegmes ayant très mauvaise odeur, le procédé Roussan repris par l'abbé Godefroy, est très efficace, mais l'alcool obtenu présente toujours une odeur légèrement désagréable. Ce procédé consiste à alcaliniser les flegmes par un lit de chaux et à y verser une certaine quantité de chlorure de chaux, de préférence liquide (en solution). On s'arrête quand la décomposition de l'hypochlorite commence à se ralentir. L'opération doit se faire dans un milieu aussi froid que possible; dès que la température s'élève un peu, il se produit du chloroforme qui donne à l'alcool une odeur « de pétrole ».

Comme autres substances oxydantes également essayées, on peut citer le nitrate mercurique, l'eau oxygénée, les superoxydes de baryum, de plomb, de manganèse, etc.....

Pour l'élimination des acides on emploie efficacement les carbonates de potassium ou de sodium, qui forment avec ces acides des sels qui restent dans les eaux résiduelles après rectification.

Pour éliminer les éthers on a conseillé leur saponification par

un alcali caustique. Après avoir dosé les éthers en saponifiant au laboratoire un petit échantillon de flegme par la potasse, on introduit dans le bac à flegmes une quantité de soude suffisante à la fois pour saponifier les éthers et saturer les acides. Douze à 16 heures après, on neutralise le flegme et on l'envoie dans la chaudière du rectificateur. En rectifiant en milieu alcalin on s'expose à transformer l'aldéhyde en polymères résineux présentant une odeur très désagréable.

Enfin pour l'enlèvement des huiles amyliques on a essayé les corps gras, les acides oléiques, stéarique, le savon, et plus récemment les hydrocarbures.

Les hydrocarbures ont été surtout utilisés comme désodorants. Les hydrocarbures provenant de la distillation du pétrole brut ont un pouvoir absorbant considérable pour les alcools supérieurs, les éthers lourds et d'autres produits odorants de queue.

Filtration des Alcools sur le charbon de bois

593. Le traitement au charbon de bois est le seul procédé qui soit encore sérieusement employé. La filtration sur charbon est surtout en usage dans les raffineries d'alcools, c'est-à-dire dans les établissements qui fournissent des alcools directement à la clientèle; dans les distilleries qui vendent leurs alcools par grandes quantités à de gros négociants, la filtration présente peu d'intérêt; aussi a-t-elle été généralement abandonnée.

Le charbon de bois peut être employé en morceaux ou en poudre fine. Dans le premier cas on emploie un appareil de filtration analogue à une batterie de diffusion (p. 143); dans le second cas on emploie le filtre presse (p. 722).

On admet généralement que l'action du charbon dans ce traitement est purement physique; les impuretés qui constituent le fusel seraient retenues mécaniquement, et cette action devrait être d'autant plus intense que la surface offerte par le charbon serait plus grande. Or le charbon animal qui présente une surface plus grande que le charbon de bois, est beaucoup moins efficace que ce dernier; de plus, on remarque en pratique que les charbons les plus légers, ceux qui sont très poreux, conviennent mieux que d'autres; il faut donc, semble-t-il, accorder un rôle chimique dans l'épuration aux gaz, oxygène en particulier, retenus dans les pores du charbon.

Un autre argument est le suivant. Si l'épuration par le charbon consiste seulement dans une absorption de fusel, l'alcool filtré doit renfermer moins de fusel que le non filtré; or, d'après les expériences récentes du D^r Gladenapp (1) c'est le contraire qui a lieu : la proportion de matière soluble dans le chloroforme (procédé Röse) a augmenté. De plus, on trouve que le charbon ne renferme pas de fusel. Que s'est-il donc produit?

L'expérimentateur a constaté que le charbon ne retient que 1 % du fusel contenu dans l'alcool; mais, après filtration, l'alcool renferme une proportion d'aldéhydes et d'éthers plus grande qu'auparavant, au moins pour ceux qui n'en renferment qu'une faible proportion. Il semble résulter des recherches du docteur Gladenapp les conclusions suivantes : 1^o L'action du charbon est plutôt chimique : c'est une oxydation qui transforme partiellement les divers alcools en aldéhydes, cétones et acides; il y a donc aussi production d'éthers. 2^o Quand l'alcool renferme peu d'aldéhydes, la quantité formée par oxydation est faible; s'il en renferme beaucoup, une partie disparaît par la filtration, absorbée par le charbon. 3^o Les éthers formés jouent le principal rôle dans l'amélioration du goût et du bouquet. 4^o Le charbon ne retient qu'une quantité de fusel insignifiante.

Il résulte de cette étude d'autres considérations intéressantes pour le distillateur. Puisqu'il s'agit d'une oxydation, l'effet en serait sans doute plus intense à chaud; c'est un essai à faire. On aurait également intérêt, avant d'employer le charbon revivifié, à le traiter par un courant d'air sec, afin que ses pores condensent le maximum de gaz oxygène.

Jusqu'ici on a toujours cherché dans la pratique une température aussi basse que possible. Dans ce but on fait souvent passer le flegme ou l'alcool dans un réfrigérant à étages genre Paucksch (fig. 66) avant de l'envoyer dans la batterie. En outre comme on attribue l'action du charbon à l'élimination des fusels, des éthers lourds, des huiles et des substances odorantes, on tâche d'augmenter l'effet épurant en diminuant la solubilité de ces corps par addition d'eau. On ramène donc le liquide à filtrer à un degré alcoolique de 40 à 30 et même 25° G. L.

Les meilleurs charbons pour filtration sont ceux provenant d'essences légères, tels que le tilleul, le hêtre, le fusain, le pin.

(1) Zeitschrift für Spiritus industrie, 1898, p. 284.

En Allemagne, on emploie beaucoup le pin, qui actuellement est aussi fort usité en France, notamment celui des environs de Bordeaux. Ce charbon vaut en Allemagne 2 fr. 50 rendu à l'usine. La densité varie de 12 à 14 kilos à l'hectolitre, et ne doit pas dépasser 15 kilos.

Nous avons dit que la filtration se fait dans un appareil analogue à la batterie de diffusion. Les batteries de filtration se composent généralement de 6 à 10 vases en tôle, de 4 à 8 mètres de hauteur et de 0 m. 60 à 1 m. 20 de diamètre. Chaque filtre porte une clarinette séparée en 2 parties par un diaphragme muni d'une valve K qui est la valve de communication.

La clarinette reçoit 6 tuyaux portant chacun un robinet : *a*

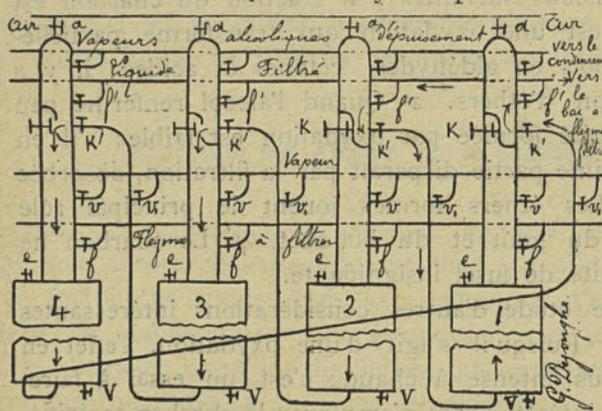


Fig. 383. — Schéma de la filtration montrant le meichage du filtre n° 1.

pour l'air, *v* pour la vapeur, *f* pour le flegme brut, *k'* pour la communication, *f'* pour le flegme filtré, et *v'* pour l'échappement de la vapeur alcoolique pendant l'épuisement du filtre.

On voit sur notre dessin que

le tuyau de communication réunit la partie inférieure de chaque filtre avec la partie supérieure du suivant par l'intermédiaire de la clarinette, dans la partie supérieure de laquelle il débouche. Il reçoit lui-même un tuyau à robinet *v*₁, pour l'injection de la vapeur par le bas pendant l'épuisement.

Chaque filtre porte en outre, à une petite distance du fond, un faux-fond perforé ou crépine, et au-dessus de ce faux-fond un trou d'homme fermé par une porte en fonte avec joint à rondelle de caoutchouc. A la partie supérieure il est muni d'un robinet *e* qu'on peut laisser ouvert pendant le *meichage* et qui sert en outre à prélever des échantillons.

La crépine étant mise en place et la porte de trou d'homme soigneusement fermée, on ouvre le robinet de vidange *V* et par le robinet *v* correspondant, on injecte de la vapeur dans la

clarinette. Cette vapeur circule de haut en bas dans le filtre, chassant devant elle l'air plus dense qui s'échappe par la vidange V. On peut suivre la marche de l'opération en appliquant la main sur la tôle qui s'échauffe progressivement de haut en bas.

Quand la purge d'air est terminée, c'est-à-dire que la vapeur sort par la vidange V, on ferme les robinets et on laisse refroidir le filtre. On le *meiche* alors, c'est-à-dire qu'on l'emplit de flegmes par le bas. Les flèches de notre dessin indiquent la marche du liquide pendant cette manœuvre. Comme dans la batterie de diffusion, on emprunte la tuyauterie de soutirage, c'est-à-dire celle d'alcool filtré. L'alcool venant du filtre 4, trouvant ouvert le robinet K' du filtre 1, va dans la partie supérieure de la clarinette de ce filtre, puis par le tuyau de soutirage de liquide filtré arrive dans la partie supérieure de la clarinette du filtre 2 et enfin par le robinet K' de ce filtre, descend dans la partie inférieure du filtre 1 qu'il emplit de bas en haut. On surveille l'opération du haut en se tenant près du robinet d'échantillon e du filtre en meichage, en-dessous duquel on place un seau, et qu'on ne ferme qu'après avoir récolté un peu de liquide.

On change ensuite les communications pour faire arriver les flegmes par le haut et avoir la circulation normale de haut en bas dans chaque filtre. Pendant qu'un filtre est en service, le robinet d'air placé sur la clarinette doit être constamment ouvert.

Quand l'air a été soigneusement enlevé par injection de vapeur et par l'emplissage de bas en haut, la circulation se fait toujours bien dans la batterie. Toutes les difficultés de circulation proviennent de matelas d'air qui se forment dans les filtres et les clarinettes.

Pour la vidange du flegme d'un filtre, on fait arriver la vapeur par le robinet v et on refoule le liquide dans le filtre suivant. On reconnaît que cette vidange est nécessaire, quand la qualité de l'alcool soutiré du dernier filtre chargé de charbon laisse à désirer. On suit la marche de la vidange également en appliquant la main sur le filtre.

Quand le bas est chaud, c'est signe que tout le liquide est refoulé dans le filtre suivant. On l'épuise ensuite en injectant de la vapeur par le bas, par le robinet r₁ et le tuyau de communication. La vapeur chargée d'alcool et d'impuretés volatiles s'échappe par le robinet des vapeurs alcooliques d'épuisement, et se rend à un condenseur et à une petite éprouvette.

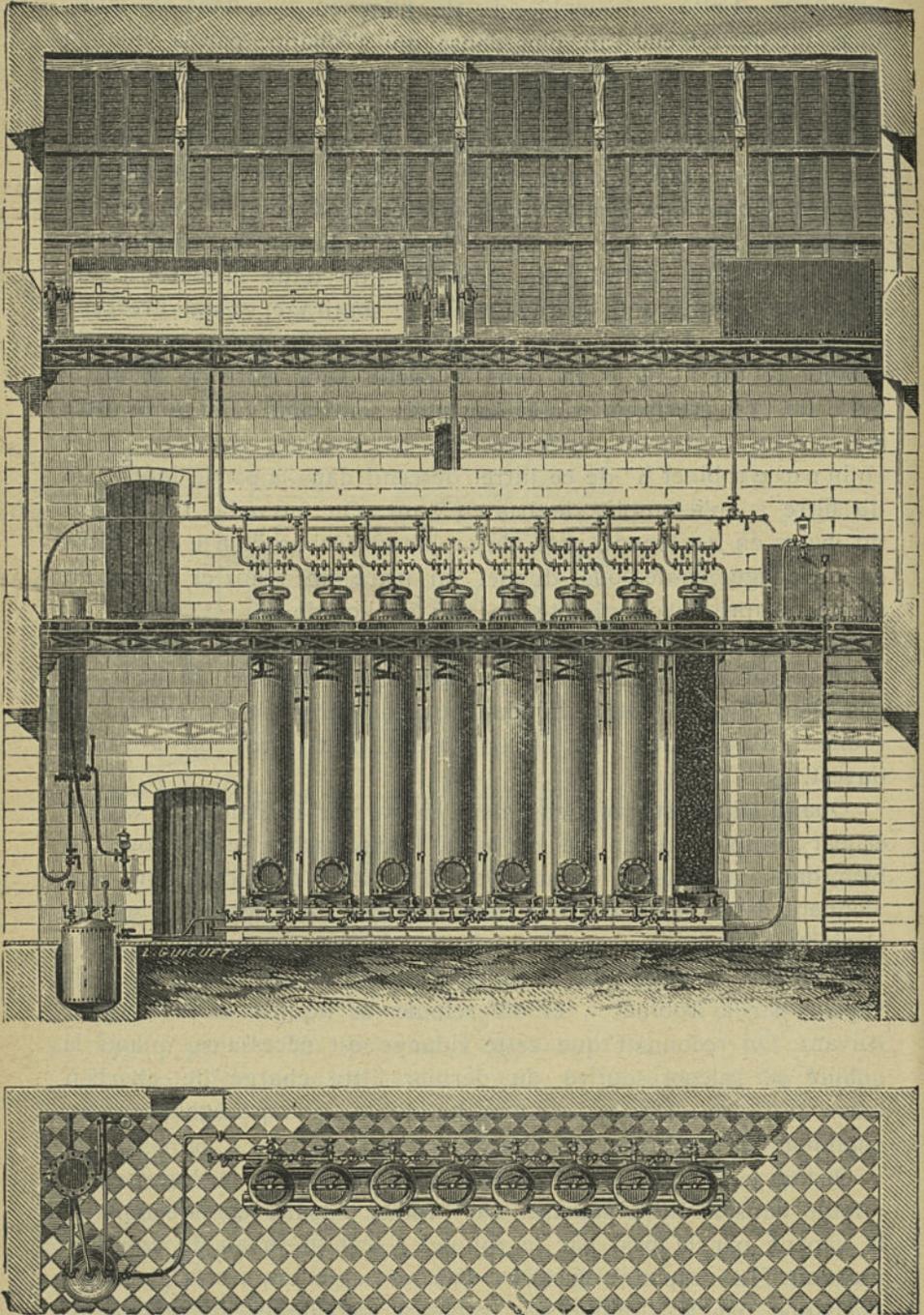


Fig. 384. — Batterie de filtration syst. Savalle (Lepage et C^o, Paris).

On épuise jusqu'à 0, on ouvre le filtre et on fait écouler le charbon qu'on transporte à la revivification.

Revivification du charbon de bois.

594. Le moyen le plus simple pour revivifier le charbon de bois consiste à le calciner au rouge sombre dans un petit four à flamber dont on ferme toutes les ouvertures aussitôt que le charbon est bien enflammé; la freinte est assez grande, mais le charbon est réellement revivifié.

Un excellent procédé est celui qui consiste à calciner le charbon dans des cornues en tôle analogues à celles qu'on emploie dans les fabriques d'acide pyroli-gneux. Le charbon est chauffé au rouge sombre. Si on poussait la température jusqu'au rouge vif, il y aurait danger de fondre certains sels insolubles provenant des

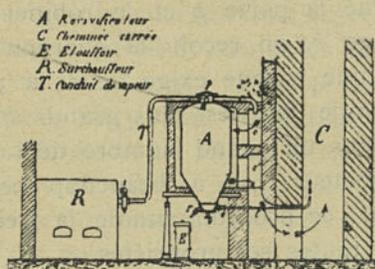


Fig. 385. — Revivification par la vapeur surchauffée.

cedres et qui obstrueraient les pores du charbon en diminuant son pouvoir épurant. Quand il ne se dégage plus de vapeur, on ferme le col et on retire la cornue du four pour la laisser refroidir. Le refroidissement du charbon a lieu à l'abri de l'air.

Un système de revivification assez répandu dans les grandes raffineries d'alcool d'Allemagne, est celui de Hœper. Il consiste à chasser les impuretés volatiles retenues par le charbon, au moyen de la vapeur surchauffée. Par la porte (fig. 385) on introduit le charbon dans l'autoclave A. On ferme la porte et le robinet d'air *r* placé à la partie inférieure, on ouvre le robinet d'échappement d'air *e*, posé sur un tube *t*, allant à la cheminée, et on fait arriver la vapeur par le haut en *a* pour chasser l'air par *e* et *t*. Puis, tout en maintenant dans la cornue un certain courant de vapeur (1), on fait circuler la vapeur surchauffée

(1) Barbet et Arachequesne. Manuel des fabricants d'alcools.

autour de l'autoclave par les carneaux *c* et *c'* d'où elle se rend à la cheminée dans le sens des flèches.

La vapeur est surchauffée dans un serpentín placé dans le four B; un pyromètre *e* indique la température de la vapeur. Un surchauffeur peut desservir plusieurs cornues que l'on dispose par paires de façon que pendant que l'une est au chauffage l'autre subisse les manœuvres de vidange, puis de remplissage et qu'on ait ainsi un travail régulier pour le surchauffeur.

La revivification étant achevée, on arrête la vapeur que l'on dirige sur la cornue voisine, on ferme *e*, puis on ouvre la porte *p* et le robinet d'air *r*. Il se forme un tirage d'air dans la cornue et le charbon étant à sa température de combustion, s'enflamme spontanément. Quand toute la masse est incandescente, on referme la porte *p* et le robinet d'air *p*, puis, par la porte de vidange *r*, on reçoit le charbon dans des étouffoirs E. Le service d'une cornue exige de 25 à 30 étouffoirs.

F. Pampe fait les plus grands éloges de ce procédé qu'il a installé dans un grand nombre de raffineries allemandes. D'après ce constructeur, qui a beaucoup perfectionné les appareils de l'inventeur, ce procédé annule la freinte en charbon et conserve à celui-ci toutes ses propriétés.

M. Barbet, au contraire, trouve qu'avec ce procédé, l'installation est coûteuse, le maniement délicat, et qu'en somme le charbon n'est pas mieux revivifié. Le seul avantage sérieux de la vapeur serait d'obtenir une température fixe et de revivifier le charbon de bois sans craindre de le calciner; mais du moment que la température atteinte n'est pas suffisante, et qu'il faut terminer l'opération par une période d'incandescence obtenue aux dépens du charbon de bois lui-même, le système devient, dit M. Barbet, fort sujet à critique.

Nous devons dire que nombre d'industriels, en France, partagent cet avis, et s'en tiennent au four à cornues et même au simple four à flambage.

On a cherché à augmenter le pouvoir épurant du charbon de bois en l'imbibant de solutions salines avant la revivification. On a essayé ainsi les carbonates de potasse et de soude, les sels de magnésie.

Il est évident que, comme le disent MM. Barbet et Arachequesne, on obstrue ainsi les pores du charbon, et qu'il serait préférable d'employer directement le réactif dans le flegme où la dose serait plus facile à proportionner.

D'après ces auteurs, la seule opération logique à faire subir au charbon, serait peut-être un lavage à l'acide chlorhydrique faible pour le débarrasser des dépôts de carbonate de chaux, qui peuvent s'y produire, lorsque l'on emploie des eaux calcaires au coupage du flegme.

Hœper a mélangé au charbon un produit obtenu par la calcination d'une mixture de bioxyde de manganèse, de chaux vive et d'alcalis caustiques et carbonatés.

Le charbon de bois qu'on achète doit toujours être examiné avant d'accepter livraison de la marchandise. Pour cela on porte le charbon à l'incandescence dans la flamme d'un bec de gaz ou d'une lampe à alcool, puis on le retire de la flamme; si aucune fumée ne se dégage, c'est une preuve que le charbon est bien calciné. Il faut aussi que le charbon soit léger et qu'il se casse facilement. Le charbon introduit dans les filtres doit être concassé en morceaux ni trop gros, ni trop petits. La filtration est d'autant plus facile et partant plus rapide que le charbon est plus gros, mais elle est aussi moins efficace. Plus le charbon est fin, moins il faut de filtres, mais plus on a de chances d'obstruction. Un bon concassage paraît être celui qui donne un mélange de 2/3 de morceaux de la grosseur d'une noix et de 1/3 de petits grains et de poussière.

D'après Pampe, il est inutile de donner aux filtres plus de 5 mètres de hauteur. Les hauteurs de 7, 8 mètres qu'on rencontre souvent exigent des bâtiments très élevés et ne présentent aucun avantage; il vaut mieux mettre quelques filtres en plus. Avec une batterie de 12 filtres de 0^m80 de diamètre et 5 mètres de hauteur contenant 25 hectolitres, on peut filtrer par 24 heures 30 hectolitres d'alcool de mélasses ou de betteraves, 50 hectolitres d'alcool de maïs et 60 hectolitres d'alcool de pommes de terre (le tout ramené à 100°).

Voici un prix de revient pour une batterie de 7 filtres de 40 hectolitres avec revivification au four à flamber.

On filtre en 3 jours 210 hectolitres de flegme à 45°, soit 94,5 degrés hectolitres. On vide un filtre de 39 hectolitres de charbon soit $39 \times 20 = 780$ kilos. Perte de 50 p. 100 à la revivification soit 380 k. ou $\frac{390}{9,5} = 4$ k. par hecto d'alcool.

Freinte en charbon 4 k. × 0 f. 16 = 0,64 soit.	0,65
— alcool	0,45
Main d'œuvre	0,15
Amortissement (50.000 f. à 15 % pour 21.000 hectolitres)	<u>0,35</u>
	1,60

La freinte est toujours d'au moins 1 p. 100 et elle peut atteindre facilement 3 p. 100 et même davantage.

Emploi du charbon en poudre

595. MM. René et Auguste Collette ont récemment breveté un système de traitement des alcools par le charbon en poudre. Celui-ci étant intimement mélangé à l'alcool dans un bac malaxeur, on refoule le tout dans un filtre-pressé à lavage (p. 736). Après le lavage on fait tomber le charbon dans un séchoir puis on le revivifie par la calcination dans des pots en grès entassés dans un petit four. D'après les inventeurs le charbon s'améliore à mesure qu'il est recuit.

Un autre procédé est celui de Messerli qui a été recommandé en France par la Maison Cambray. La filtration a lieu dans une batterie de 3 ou 4 petits filtres, de 1 m. de hauteur au plus, et le charbon est d'une nature spéciale. Il paraît provenir de la tourbe calcinée en présence d'alcalis et de sels de magnésie. Nous avons essayé ce procédé et nous devons dire que l'effet était remarquable; mais il diminuait rapidement, et finalement nous avons dû abandonner nos essais.

Dépense de combustible pour la filtration

596. Nous ne pouvons donner ici qu'un résumé des calculs que nous avons faits. On peut donner la dépense de vapeur comme suit :

A. — *Evaporation du filtre* ou expulsion de l'air. L'opération dure environ dix minutes, et il faut :

1° Emplir le filtre de vapeur à 1 k. 5 ;

2° Porter de 12 à 112° la température de la tôle (chal. spécifique 0,114) et celle du charbon (chal. spécifique 0,24 à l'état sec soit 0,3 avec 10 % d'humidité) de 12 à 53° C.

B. — *Épuisement du filtre*. L'opération dure de 5 à 6 heures et il faut :

1° Vaporiser ce qui arrive à l'éprouvette ;

2° Réchauffer le filtre et le charbon qu'il contient ;

3° Compenser les pertes par rayonnement.

C. — *Élévation des flegmes et de l'eau de condensation*.

D. — *Séchage du charbon dans le filtre* par un compresseur d'air (Westinghouse ou autre) ou un aspirateur d'air Koerting. Ce dernier paraît préférable ; il donne au bout de 3 heures un charbon à 53 p. 100 d'humidité, tandis que le Westinghouse ne donne, même après 12 heures d'insufflation, que du charbon à 60 p. 100 d'eau.

Dans un exemple nous avons trouvé :

$A + B + C + D = 0,5 + 19,0 + 1,0 + 10,0 = 30$ k. 50 vapeur par hectol., soit 5 k. de charbon.

Remarques. — 1° Le vide maximum obtenu dans le filtre est 60 mm. et la température y est de 40° C. 2° On arrête l'épuisement quand la dépense de charbon devient égale à la valeur de l'alcool récupéré, c'est-à-dire, quand le liquide accuse à l'éprouvette 0,5 à 1° suivant le coût du charbon. 3° La quantité de charbon propre à la filtration fournie par 100 k. de charbon neuf est, en appelant f la freinte :

$$S = (100 - f) + \frac{(100 - f)^2}{100} + \frac{(100 - f)^3}{100^2} + \text{etc....}$$

En faisant la sommation comme au n° 562, on a :

$$S = \frac{100 - f}{1 - \frac{100 - f}{100}}. \text{ Pour } f = 40 \text{ on a } S = 150.$$

On peut donc passer en tout par le filtre $100 + S = 250$ k.

CHAPITRE XXXV

Distillation et rectification dans la production des Eaux-de-vie, du Genièvre et du Rhum

597. *Genièvre.* — Quand il s'agit d'un travail à mouës épais, la distillation est délicate et doit être conduite avec le plus grand soin, il est à redouter qu'il se produise dans la colonne des stagnations de mouët, d'où résultent des surchauffes de la matière et par suite des goûts d'empyreumes très désagréables.

A la mise en route de la colonne à distiller les flegmes, qui coulent d'abord bleus et à bas degré à l'éprouvette, sont mauvais et inutilisables pour la fabrication de bon genièvre. Le

genièvre fait avec ces flegmes a un goût de farine brûlée; il fournit surtout en queue un fusel âcre et amer, dont une faible quantité suffit pour gâter du genièvre convenable; les *flegmasses* provenant d'une pareille rectification ont une odeur et une saveur très prononcées, âcres et irritantes.

On obtient les mêmes résultats, avec les flegmes à bas degré qui viennent en fin d'opération, quand on veut épuiser la colonne et qu'on fait tomber le degré en passant de l'eau dans l'appareil; dès que les flegmes arrivent à 45 — 40°, l'odeur de brûlé apparaît persistante et tenace, même après plusieurs rectifications.

Si dans le cœur de la distillation, par suite d'inattention ou d'un accident quelconque, un notable changement d'allure se produit dans la colonne à distiller et que les flegmes tombent en degré pour couler bleus et opalins à l'éprouvette, on peut être certain d'avoir encore de mauvais produits.

Donc il est essentiel de distiller à haut degré en passant le plus vite possible le vin dans la colonne (en maintenant naturellement l'éprouvette au coulage et la vinasse épuisée). On doit couler entre 60 et 70°; vers 55-50° les flegmes sont encore bons, mais après cela ils sont mauvais et ne peuvent donner de bon genièvre. Les bas degrés doivent être réunis dans un bac à part et être rectifiés pour être vendus comme alcools.

Production du genièvre. — Les flegmes une fois obtenus, aussi purs et aussi fins que possible, la rectification du genièvre n'est pas moins délicate que leur distillation. Il convient de les étendre d'eau pour les réduire dans la chaudière à 40° environ.

En rectifiant le flegme à haut degré, l'opération est imparfaite et le genièvre a un goût de flegme trop prononcé; au contraire, en ramenant à 30° G L, par exemple, il prend un goût âcre de vinasses fort redouté du fabricant.

L'appareil à genièvre comprend une chaudière de 50 à 100 hectolitres par exemple, avec un dôme et un tuyau de dégagement muni d'une *boîte à aniser* ou *anisateur* recevant les baies.

Une délivation sert à éviter le passage des vapeurs par cette boîte pour permettre le changement de celle-ci.

Il faut chauffer doucement la rectification et sélectionner les têtes qui coulent vers 80°. Les têtes ne sont guère à craindre au point de vue du goût; on en détourne le moins possible, quelques litres seulement, et aussitôt que le genièvre coule clair, on met au bon goût. On maintient ensuite l'appareil à une douce chaleur pour avoir un coulage bien régulier et modéré à environ

80° à l'alcoomètre. La lenteur de l'opération permet à l'arome de se développer. Les distillateurs des Charentes connaissent depuis longtemps la nécessité d'une distillation lente et prolongée ; aussi la font-ils durer pendant 10-12 heures dans leurs alambics. A la fin, il importe de se méfier quand le degré baisse pour détourner les produits de queue. Beaucoup de fabricants les détournent seulement à l'arrivée du liquide opalin, vers 40-35° ; mais il vaut mieux les détourner plus tôt, vers 50° G. L., car c'est la fin de l'opération qui donne le goût âcre au genièvre.

On fait souvent rentrer les queues dans la fabrication subséquente ; mais ceci ne paraît possible que dans une fabrication sans production de levure.

Si on emploie des baies, on peut les mettre directement dans la chaudière ou dans un sac ; mais on a un produit beaucoup plus fin en les logeant dans un récipient placé sur le passage des vapeurs alcooliques. Pour 50 hectos de genièvre on mettra par exemple 15 kg. de baies ; pour du genièvre *fort en baies* on en mettra 30 k. en deux fois en détournant la vapeur alcoolique par une dérivation.

Le produit rectifié et marquant 60 à 65° est ensuite coupé pour le ramener à un degré variant entre 42 à 52°, en France généralement 49°.

Ce coupage exige des soins pour éviter un trouble ou un louchissement du genièvre. Cet accident peut provenir des sels calcaires contenus dans l'eau employée au coupage ou des impuretés du genièvre, par exemple des alcools amyliques (§ 23, 24, 25). Dans le premier cas ce sont les sels calcaires qui, étant insolubles dans l'alcool, se précipitent ; dans le second, ce sont les alcools amyliques,

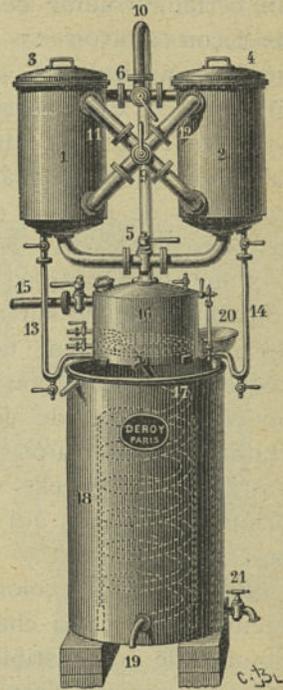


Fig. 386. - Anisatier Deroy (1).

(1) LÉGENDE. — 1, 2. Récipients accouplés recevant les baies. — 3, 4. Couverts. — 5. Robinet d'entrée des vapeurs alcooliques. — 6. Robinet de sortie des vapeurs aromatisées. — 9. Robinet de communication. — 10. Col-de-cygne. — 11, 12. Tuyaux de communication. — 13, 14. Tuyaux des rétrogradations. — 15. Arrivée des vapeurs alcooliques. — 16. Récipient des rétrogradations. — 17. Serpentin de réfrigération. — 18. Réfrigérant. — 19. Sortie du genièvre. — 20. Entonnoir. — 21. Robinet de vidange.

solubles dans l'alcool très concentré, mais insolubles dans l'eau ou l'alcool faible, qui se séparent en donnant un trouble bleuâtre qu'on ne peut faire disparaître même par des filtrations successives, et qui ne s'en va généralement qu'après un long repos du liquide. Si le trouble provient de l'eau, on l'évite en employant de l'eau de pluie; mais, s'il provient des impuretés du genièvre, il faut recourir à un artifice. Comme c'est surtout dans les bas degrés que les impuretés se séparent, on peut d'abord prendre un certain volume de genièvre qu'on coupe fortement à l'eau, de façon à avoir 25 et même 20° G. L.; on met de côté ce liquide qu'on laisse se clarifier par un long repos suivi d'une filtration si c'est nécessaire. En coupant ensuite du genièvre à 80° avec ce genièvre très faible, on aura un mélange à 49° parfaitement limpide, grâce à l'élimination d'une grande partie des impuretés de l'eau et du genièvre entrant dans la préparation du genièvre faible.

Pour la filtration des genièvres louches, M. Vanderstichele conseille le filtre suivant : Un tonneau à fond percé de trous, où on a légèrement tassé une couche de coton, une couche de déchets d'amiante ou asbeste de 10 centimètres et enfin une nouvelle couche de coton. Le liquide sort avec une limpidité extraordinaire. L'amiante ne coûte que 2 à 5 francs le kilo. En outre il suffit, si elle est souillée, de la laver à l'acide chlorhydrique dilué, puis à l'eau, et enfin, de la chauffer au rouge pour la régénérer.

Rhum. — La colonne doit être tout en cuivre et avoir un récupérateur de la chaleur des vinasses, dans le triple but d'économiser le combustible, d'abrèger le refroidissement de la vinasse et d'économiser l'eau. Pour de bons rhums il faut l'alambic simple ou bien produire le chauffage de la colonne continue par de la vapeur de vinasse à 120°, c'est-à-dire à environ 2 k. de pression. On peut produire cette vapeur dans un générateur spécial en cuivre rouge timbré à 2 k., mais on obtient le même résultat en la produisant dans un appareil tubulaire analogue à une caisse de triple effet. Pour pouvoir faire le retour direct au générateur de l'eau condensée, il suffirait de placer la chaudière à 2 m. 50 au-dessus du générateur et de faire un double fond résistant à la pression de celui-ci. Une pompe refoule la vinasse dans cette chaudière d'évaporation sous pression comme on le voit dans la figure de l'appareil Savary (Voir plus loin).

(1) Docteur G. Vanderstichele. *Petit Guide du Distillateur agricole.*

CHAPITRE XXXVI

Compteurs à alcool

598. *Compteur à alcool de Siemens.* — Les fig. 387 et 388 représentent la coupe et la vue d'ensemble du compteur à alcool *Siemens*. Ce compteur a pour but de mesurer le volume d'alcool coulant à l'éprouvette, et en même temps la quantité d'alcool pur qu'il contient.

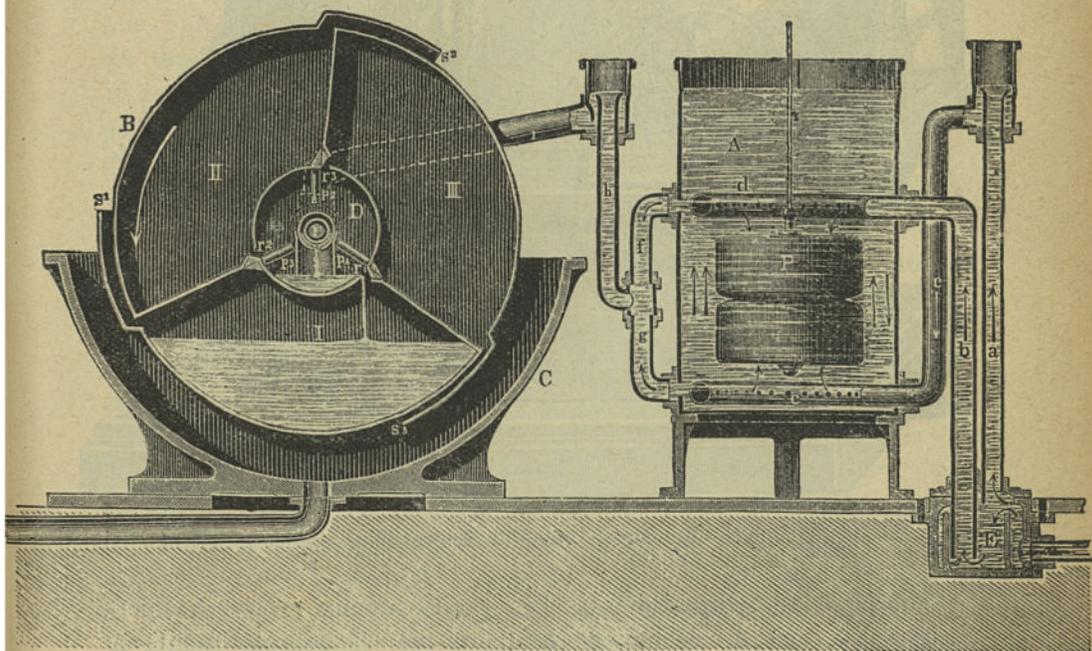


Fig. 387. — Compteur à alcool de Siemens. Coupe.

Deux organes servent à atteindre ce double but : Le compteur B et l'enregistreur A servant à contrôler le degré de l'alcool. Le mesurage de l'alcool se fait d'une façon très simple et très sûre : L'alcool arrivant de l'appareil enregistreur A est conduit par le tuyau *i* dans la capacité cylindrique D (Voir fig. 387) qui se trouve elle-même à l'intérieur du tambour B. Ce tambour est divisé par des cloisons en trois compartiments I, II, III,

pouvant recevoir chacun un volume déterminé de liquide. Des ouvertures étroites r_1 , r_2 , r_3 , parallèles à l'axe du tambour, mettant en communication chaque compartiment avec le cylindre D, de manière à ce que, suivant la position du cylindre, l'alcool puisse pénétrer dans les compartiments I, II, III. Chacune de ces cases communique avec l'extérieur par l'intermédiaire des ouvertures s^1 , s_2 , s_3 , qui sont destinées à l'écoulement de l'alcool con-

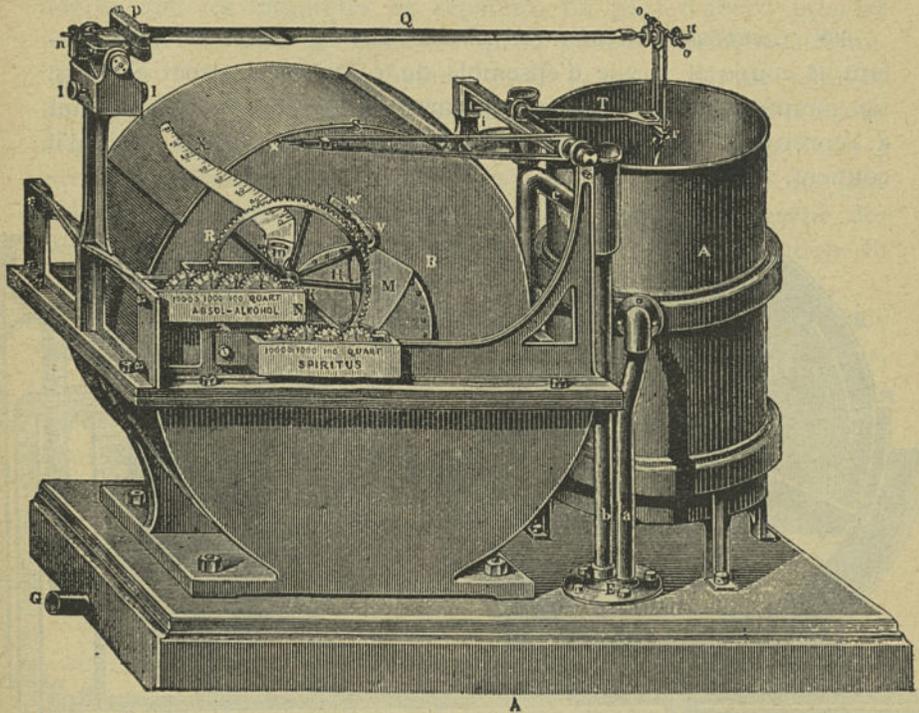


Fig. 388. — Compteur à alcool de Siemens (Vue extérieure).

tenu dans les compartiments. Les petits tuyaux p_1 , p_2 , p_3 , permettent à l'air de s'échapper pendant que les compartiments se remplissent.

Maintenant que nous connaissons la disposition de cet appareil, examinons comment il fonctionne :

Lorsque le compteur se trouve dans la position représentée par la fig. 387, l'alcool arrivant dans le tuyau i pénètre dans la capacité D et passe de là par l'ouverture la plus basse r_1 , dans le compartiment I. Lorsque celui-ci est plein, le niveau s'élève en D et s'écoule par l'ouverture r_2 dans le compartiment II. Le centre de gravité du tambour se trouve ainsi déplacé, et,

dès qu'une certaine quantité d'alcool s'est rassemblée dans le compartiment II, le tambour tourne suivant la direction de la flèche (Fig. 387). Le liquide contenu dans le compartiment I peut alors s'écouler par l'ouverture s_1 , dans un vase C entourant le tambour d'où il se rend par le tuyau G dans le réservoir à alcool. Au fur et à mesure que le compartiment I se vide, ce qui se fait rapidement, le tambour continue à tourner, et le compartiment II finit par prendre la place qu'occupait primitivement le compartiment I.

Lorsque la case II est pleine, l'alcool coule dans le compartiment III ; le tambour tourne alors de nouveau et le compartiment III vient à son tour prendre la position représentée par la figure, et ainsi de suite. Ce jeu se continue de cette façon tant que l'alcool arrive dans l'appareil. Un compteur adapté à l'axe du tambour enregistre le nombre de tours qu'a fait l'appareil, et permet ainsi de se rendre aisément compte du volume d'alcool qui l'a traversé. La construction de l'appareil servant à enregistrer le degré de l'alcool est plus compliquée : elle se résume en un compteur qui est mis en mouvement par un alcoomètre spécial. Cet instrument se compose d'un flotteur P plongeant dans l'alcool qui passe dans le vase A et qui est suspendu à l'autre extrémité à une lame en acier, faisant ressort Q (Fig. 388). Suivant que la force de l'alcool qui coule à travers le récipient est plus ou moins grande, le flotteur s'y enfonce plus ou moins en tendant aussi plus ou moins le ressort Q. Un levier relie la tige de l'alcoomètre à un indicateur S, mobile autour de l'axe i , et lui transmet tous ces mouvements, ayant pour effet de faire baisser ou relever sa pointe. D'autre part, il se trouve sur l'axe du tambour mesureur un disque rond M, dans lequel sont ménagées trois profondes échancrures. Ce disque se meut avec le tambour, et à chaque $1/3$ de tour correspondant à l'évacuation d'un des compartiments, le levier H tombe dans l'une des échancrures qui sont taillées de façon à ce que la marche de l'appareil fasse bientôt après reprendre au levier sa position primitive sur la circonférence du disque. En remontant, le levier met en mouvement, par l'intermédiaire d'un cliquet, une roue dentée qui elle-même fait partie d'un compteur particulier. Il est clair, d'après cette description, que plus le levier H s'enfoncera dans l'échancrure du disque M, plus aussi la roue dentée fera de tours, et comme, grâce à une disposition particulière, l'enfoncement du levier varie avec la disposition de la pointe χ

de l'indicateur S qui lui-même suit les mouvements de l'alcoomètre P, il en résulte que le compteur peut être réglé de façon à indiquer exactement la force alcoolique du liquide contenu dans le vase A.

Le liquide doit naturellement être bien mélangé pour que l'indication de l'alcoomètre soit exacte. Ce mélange est obtenu par la disposition que présente la figure 388 : l'alcool, avant d'entrer dans le vase mesureur, se rassemble dans un récipient E, d'où il se rend par deux tuyaux dans le vase A. Un de ces tuyaux, *b*, part du fond du récipient E, et se termine par une couronne percée de trous à la partie supérieure de A ; l'autre tuyau, au contraire, part du haut du réservoir E et aboutit, de la même façon que le premier, à la partie inférieure de A. L'alcool qui a le poids spécifique le plus grand, c'est-à-dire le plus faible, arrive donc à la partie supérieure du vase A, et aura naturellement la tendance à descendre, tandis que l'alcool le plus fort, qui arrive à la partie inférieure de A, aura la tendance à s'élever. On obtient ainsi le mélange voulu.

Pour rendre les indications de l'alcoomètre indépendantes des variations de température, *Siemens* construit le flotteur en tôle mince, et prescrit de le remplir complètement d'alcool. De cette façon, le flotteur est soumis aux mêmes variations de densité que le liquide à mesurer. *Les indications du compteur de Siemens sont donc indépendantes de la température.*

Cet appareil n'enregistre pas seulement la quantité d'alcool qui coule de l'appareil, et sa force alcoolique, mais il indique aussi, grâce à un système très simple, le temps que l'alcool a mis à couler.

Le contrôleur de *Siemens* ne pouvait pas, à l'origine, être employé dans les distilleries de mélasse, parce que les gaz et les vapeurs qui s'y développent attaquaient les axes en laiton et l'étamage de l'appareil. Le constructeur a remédié, en grande partie, à cet inconvénient, en remplaçant l'étamage ordinaire par un alliage d'étain et d'antimoine, et en plaçant toutes les parties délicates du compteur dans une caisse en tôle hermétiquement fermée (Maercker, traduction Bosker et Warnery).

On reproche à ce compteur d'emmagasiner de l'air, d'accuser des dépotages variables sur des quantités d'alcool déterminées, si dans le cours d'une expérience les débits sont variés. Enfin le frottement de l'axe peut avoir une action sur la justesse de ses données.

Quant à l'enregistrement des degrés, s'il se produit dans ceux-ci des écarts brusques, le compteur n'enregistre que des données approximatives.

399. *Compteur Bedout.* — Ce compteur, imaginé par M. Louis Bedout en 1893, est déjà très employé à l'étranger, et principalement en Espagne, où il sert de contrôle de fabrication à l'Etat. Parti d'un principe tout nouveau, M. Bedout prend, comme base, l'instrument de précision par excellence, la balance.

A l'aide d'un dispositif que nous décrivons plus loin, cet appareil automatique décompose la masse liquide en une série de pesées, tout en prélevant *sur chaque pesée de volume constant une prise d'échantillon de volume constant*, qui, isolée dans un réservoir totalisateur, reste à la disposition de l'opérateur sous un volume réduit, qui peut représenter, à la rigueur, le millième du produit distillé.

La tare sous l'unité de volume, un multiple ou sous-multiple, est faite par l'alcool lui-même, ce qui supprime tout d'abord les difficultés pouvant provenir de la température ou de la densité.

Pour résoudre le problème, l'auteur emploie un compteur à volume et, subsidiairement, sans nécessité absolue, mais comme complément de contrôle, le compteur à poids.

L'un et l'autre peuvent s'utiliser séparément ou se grouper suivant la volonté de l'opérateur.

Compteur à volumes. — Cet instrument (fig. 389, 390) se compose de quatre parties principales :

1° Un réservoir distributeur G dans lequel l'orifice du serpentín S déverse le liquide à mesurer, si nous supposons, par exemple, que le liquide à mesurer est de l'alcool ;

2° Une balance Béranger B, dont l'un des plateaux est surmonté d'un vase de contenance connue, un litre par exemple, tandis que l'autre plateau supporte un vase culbuteur *b'*, qui avant l'écoulement de tout liquide s'équilibrent parfaitement ;

A, réservoir distributeur ; B, balance ; C, distributeur de sortie ; E, totalisateur ; F, filtre ; G, cadran ; K, entonnoirs ; P, marteau ; P¹, chambre de jauge ; P², flotteur à niveau ; S, serpentín ; *b*, vase-tare du poids ; *b'*, culbuteur ; *j*, ressort du clapet ; *l*, levier du clapet ; *m*, commande du clapet ; *q*, taquets du marteau ; *r*, clapet ; *t*, col de cygne du vase-tare ; *x*, purgeur ; *y*, doseur ; *y'* col d'amenée vase-tare ; *z*, axe du culbuteur.

3° Un échantillonneur totalisateur E, isolé à l'abri des chocs ;

4° Une boîte à doubles parois emmagasine les trois éléments ci-dessus avec leurs accessoires.

Supposons toujours, pour la clarté de la description, que le liquide à mesurer soit de l'alcool. Amené par le serpentin S dans le réservoir distributeur A, à base inclinée, la masse liquide traverse le filtre F, qui recouvre sa surface, et vient par l'entremise du clapet *r*, s'écouler dans le vase *b*. Lorsque le niveau du liquide atteindra l'orifice du col de cygne *t*, l'alcool se déversera dans le collecteur *b'* (voir fig. 389).

Si la contenance du vase *b* est bien de 1 litre, l'alcool faisant lui-même la tare, le vase basculeur amènera son plateau en équilibre, lorsqu'il aura reçu exactement le même volume, 1 litre dans notre espèce.

Au point d'équilibre, le marteau P déclenche et entraîne le culbuteur qui évacue son contenu, tandis que la paroi médiane du losange, qui divise le déverseur en deux parties égales, coupera instantanément le jet, lequel coule alors dans la partie symétrique, pendant que la balance, allégée,

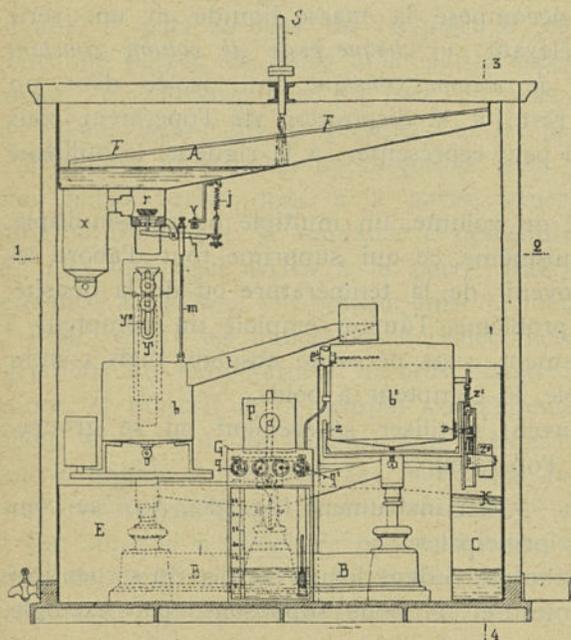


Fig. 389. — Compteur Louis Bedout.

retombe du côté du vase-tare *b*, et ainsi de suite.

Le clapet *r*, mû par la balance, a pour fonction d'amener, au moment du point d'équilibre, un jet constant, de sorte que, quel que soit le débit, pendant le court intervalle qui précède le point d'équilibre, la chute de la colonne liquide est toujours constante et n'influe en rien sur le poids réel du liquide contenu dans le vase culbuteur.

Un frein à ailettes amortit le choc du basculeur *b'*.

Enfin un cadran à roues dentées *c*, actionné par le marteau, enregistre les pesées.

De plus, pour obtenir un contrôle toujours précieux, le

Connaissant l'unité de poids de l'un, l'unité de volume de l'autre, nous aurons, sur l'un des cadrans, le poids de la masse distillée, sur l'autre le volume de cette masse. Or le quotient de ces deux nombres représente la densité. Mais, cette donnée étant fournie par le totalisateur, l'on peut dire que l'appareil porte en lui-même le contrôle de son fonctionnement.

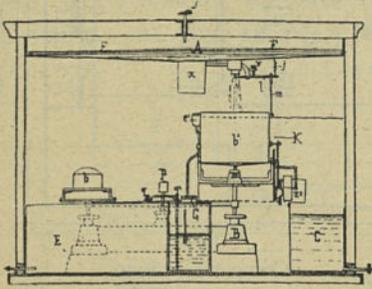


Fig. 392.

Il n'en résulte pas pour cela que, dans la pratique, il soit nécessaire de les accoupler; car ils peuvent l'un et l'autre, dans la mesure de leurs données, répondre à un but de contrôle très suffisant dans la majorité des cas.

Il n'était pas moins intéressant de signaler les avantages qu'offre leur accouplement.

Dans cet ordre d'idées, l'auteur est encore allé plus loin. Il nous offre, par l'adjonction d'enregistreurs tournants à cet appareil, un ensemble de résultats séduisants et qui peuvent, dans bien des cas, offrir des avantages vraiment intéressants.

Prenons, en effet, deux enregistreurs tournants, analogues à ceux qui sont usités pour les baromètres et les thermomètres. Etablissons des courbes transversales de volume ou de poids, divisées en heures comme la figure 394.

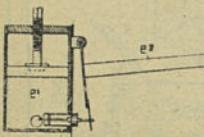


Fig. 393

Si par un procédé analogue à celui qui est employé pour les horloges pneumatiques, tel que celui que l'auteur a maintes fois appliqué, nous établissons sur le compteur à volume, en même temps que sur le compteur à poids, un simple contact alternatif pris sur un point quelconque des deux balances, nous obtiendrons ainsi une courbe de volume et une courbe de poids.

Ces résultats essentiels établis, étudions la courbe tracée par les enregistreurs.

Nous remarquons d'abord qu'ils nous donnent, chose très importante en distillation, les débits à tout instant de l'opération et, en quelque sorte, l'historique graphique de la marche de l'appareil pendant toute la distillation, heure par heure.

Pour cette démonstration, nous ne décrirons pas les enregistreurs usités dont la révolution complète du cadran dure huit jours et dont les feuilles, divisées en lignes verticales, représentent les heures, les lignes horizontales, les volumes ou les poids.

Nous considérerons simplement la courbe obtenue pendant une opération par un petit alambic sur le fac-simile ci-dessous. Remarquons tout d'abord que le mouvement d'horlogerie de notre enregistreur amène un déplacement vertical de la plume, au moyen d'un contact quelconque, toutes les fois que le cadran enregistre 100 litres, comme c'est ici le cas.

Nous aurons autant de centaines de litres qu'il y aura de dents, et la courbe horizontale de la plume entre chaque dent

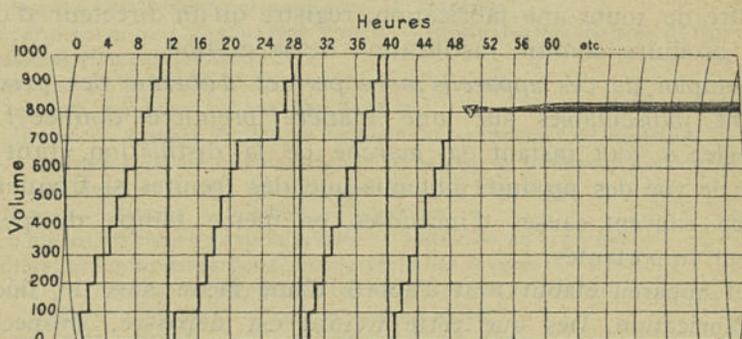


Fig. 394

représentera, grâce à la division de la feuille en heures, le temps que l'appareil aura mis à produire ces 100 litres. Si l'appareil, pour une cause quelconque, subit un arrêt de fonctionnement, la plume nous donnera une horizontale qui, après lecture, nous représentera exactement, en heures, l'interruption du travail.

Appliquons ces données à la lecture de la courbe ci-dessus. Elle donne des volumes.

Nous y lisons d'abord que le débit moyen a été de 100 litres à l'heure; que, pendant la quatrième et la cinquième heure de l'opération, le débit n'a été que de 50 litres à l'heure; que, pendant la quatorzième, la quinzième et la seizième heure du même travail, l'alambic n'a fourni que 25 litres à l'heure; qu'enfin l'opération a subi un temps d'arrêt de la vingtième à la vingt-cinquième heure, pendant lequel l'appareil a donné 100 litres seulement.

La lecture nous donne, en total, 3.800 litres. Les fractions de centaines sont lisibles au cadran.

Voilà notre courbe de volume; mais nous aurons aussi, pour le même liquide, notre courbe à poids, puisque les deux compteurs, munis de leur enregistreur distinct sont accouplés.

A l'expiration de la huitaine, les feuilles sont détachées et remplacées par de nouvelles, sur lesquelles on note l'heure du départ, et ainsi de suite.

Si, sur une même page, nous rapprochons ces graphiques et que nous établissons sur chacun les totaux de poids et de volume, nous obtiendrons la récapitulation de notre huitaine de travail.

A la fin d'une campagne de distillation, nous aurons un vrai registre de toute une fabrication, registre qu'un directeur d'usine peut produire comme justification de sa gestion.

L'emploi de ces appareils nous permet d'obtenir des prix de revient indiscutables sur une matière première donnée; de surveiller à tout instant la marche de la distillation, tant au point de vue des produits obtenus que des freintes si fréquentes et trop souvent causes d'incendies, en même temps de pertes souvent importantes.

Cet appareil établit tout d'abord d'une façon sûre le déchet de fabrication. Dès que cette freinte est dépassée, l'inspection seule de la courbe horaire nous la donne; elle peut être aussitôt réparée.

Enfin, construits en grandes dimensions, ces appareils seraient applicables comme dépotoirs publics dans les entrepôts. Leur usage offrirait peut-être plus de garanties et de célérité que les dépotoirs actuels, qu'il faut remplir et puis vider; alors qu'avec ce nouvel appareil le simple passage du liquide à dépoter suffit à faire connaître son volume, son poids et sa densité, sous forme de courbes de sincérité indiscutable.

FIN DU TOME II



TABLE DES MATIÈRES DU TOME II

LIVRE IV

Ferments et Fermentations

CHAPITRE XXI. — Fermentation alcoolique.	432
Microorganismes produisant la fermentation	436
Constitution de la levure.	438
Coloration, durée de la vie et formes des cellules de levures	439-440
Diverses espèces de levures. Levures cultivées. — Formation des voiles	443-447
Moisissures : <i>Penicillium plaucum</i> . — <i>Aspergillus glaucus</i> . — <i>Aspergillus nige</i>	449-453
<i>Moniliat candida</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Dematium pullulans</i>	455-457
<i>Oidium lactis</i> , <i>Fusarium graminearum</i>	457
<i>Cladosporium herbarum</i> ou <i>Penicillium cladosporoïdes</i>	460
<i>Mucor stolonifer</i> ou <i>rhizopus nigricans</i> . <i>M. circinelloides</i> . <i>M. spinosus</i> <i>M. alternans</i>	460-462
<i>Mucor</i> ou <i>Chlamydomucor racenosus</i> , <i>M. Mucedo</i>	465-467
<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Amylomyces Rouxii</i> . — Etude des moisissures de l'air	469
Matières fermentescibles	472
Produits de la fermentation. Equations et formules	475-578
Ferments solubles. — Leur classification.	482
Lucase. — Zymase alcoolique de Buchner. — Sucrase ou invertine. — Maltase (Glucose de cuisinier). — Tréhalase. — Inulase. — Lactase. — Amylase. — Action des antiseptiques sur l'amylase	485-494
Cytase. — Pectase. — Pepsine. — Trypsine.	495-497
Composition chimique de la levure. — Nutrition de la levure	497
Alimentation hydrocarbonée et minérale des levures	502
Influence des agents physiques et chimiques sur la fermentation alcoolique. — Lumière. — Chaleur. — Eau. — Air.	504-507
Action des antiseptiques et des acides sur les levures.	510-512
Influence de l'alcool et de l'acide carbonique sur la fermentation et le développement de la levure	517
Influence de la composition de la levure sur sa force fermentative et sur sa force prolifique	521
Influence de la dose de levureensemencée sur sa reproduction et sa composition	523
Levures employées dans l'industrie. — Purification. — Culture dans des milieux acides. — Méthode des dilutions	524-525
Applications des levures pures sélectionnées. — Levures de vin.	526-536
Culture des microorganismes dans du moût gélatiné. — Préparation du milieu	538-639
Four à flamber. — Stérilisation humide. — Autoclave	540-541
Boîtes de Pétri. — Manière d'y faire une culture	542
Culture dans la chambre humide. — Culture sur blocs de plâtre.	543-445
Etuve de Schribaux. — Régulateur de Roux	549
Propagation de la levure. — Appareil continu à levure pure de Fernbach	551-552
CHAPITRE XXII. Fermentations secondaires ou parasitaires	554
Fermentations lactique, butyrique et butylique	558-563
Aérobiose et Anaérobiose	570
Fermentation visqueuse et mannitique. — Fermentation gommeuse	573
Fermentation nitreuse. — Fermentations produites par d'autres microorganismes	575
Stérilisation	578

CHAPITRE XXIII. — Fermentation des moûts de betteraves.	
Etat des moûts arrivant à l'atelier de fermentation	581
Réglage de la densité des moûts. — Rôle de l'acidité	584
Mise en fermentation des moûts de betteraves.	587
Fermentation par levures pures. — Travail avec stérilisation parfaite.	518-520
Stérilisateur-récupérateur continu E. Houdart.	601
Difficultés de fermentations avec les moûts de betteraves. Fermentation nitreuse. — Difficultés de fermentations provenant de la maturité incomplète des betteraves. — Précautions à prendre dans la pratique de la fermentation des jus de betteraves. — Différences que présente la fermentation des jus de betteraves suivant le mode d'extraction	605-612
Conduite de la fermentation des moûts de betteraves. — Aération	614-615
CHAPITRE XXIV. — Fermentation des moûts de mélasse	
Etat des moûts arrivant à la cuverie. — Mise en fermentation des moûts de mélasses	618-620
Conduite de la fermentation des moûts de mélasse	627
Fermentation des mélasses contenant du raffinose.	631
CHAPITRE XXV. — Fermentation des moûts de pommes de terre et de grains	
Acidification lactique au moyen d'un ferment pur et sélectionné.	632
Pratique de la préparation des levains	638
Refroidissement et fermentation des moûts à levains	642-645
Fermentation du moût principal.	646
Conduite de la fermentation des moûts de matières amylacées	647
Concentration des moûts. — Fermentation des moûts très épais	657
Emploi des antiseptiques dans la fermentation : Acide sulfureux, sulfites, aldéhyde formique ou formol	650-753
Conditions que doivent présenter le matériel et le local de fermentation	652
Traitement des matières amylacées par les mucédinées	656
Fermentation des moûts de topinambours, de caroubes, de sorgho	671-672
Fermentation des moûts de patate douce, des moûts saccharifiés par les acides	972-673
Aération des moûts pendant la fermentation.	673

LIVRE V

Fabrication de la levure pressée

PRÉLIMINAIRES. — Divers procédés de fabrication de la levure pressée	676
CHAPITRE XXVI. — Fabrication de la levure viennoise.	677
Matières premières : Malt — Seigle. — Sarrasin. — Mais. — Lupin	678-681
Nettoyage des matières premières. — Leur division	682-685
Broyeurs ou écraseurs. — Mouture. — Cuisson	685-688
Importance des matières azotées. — Empâtage et saccharification	688-692
Appareils employés pour la saccharification	697
Refroidissement du moût saccharifié. — Mise en fermentation	701-703
Préparation des levains. — Moûts à levain. — Acidification	704-707
Refroidissement du moût acide. Formation de ce moût.	709
Mise en fermentation du moût principal. — Fermentation de la levure.	710-713
Ramassage de la levure. — Tamisage. — Pressage. — Empaquetage	716-720
Emploi de la levure pure dans la fabrication de la levure viennoise	726
Traitement de la vinasse	726
Exemple d'une méthode de travail par le malt vert	728
CHAPITRE XXVII. — Fabrication de l'aérolevure pressée	729
Matières premières employées. — Trempage. — Broyage. — Empâtage	730-732

Saccharification. — Soutirage au clair. — Fermentation.	732-737
Nouvelle méthode hollandaise	742
CHAPITRE XXVIII. — Fermentation panaire	742
Perfectionnements dans la fabrication de la levure pressée par l'ancien procédé dit Viennois (1).	744
Conservation de la levure	751
Filtre à air. — Filtre Möller	757-759
CHAPITRE XXIX. — Fabrication des eaux-de-vie de grains et du genièvre	762
Production continue de levains purs en distillerie. Application à la dis- tillation des betteraves et à celles des mélasses (système Barbet). . .	764

LIVRE VI

Distillation et rectification. Raffinage des alcools

CHAPITRE XXX. — Distillation	773
Lois de la distillation simple.	775
Appareils de distillation. — Appareil de Cellier Blummenthal	786-788
Principaux organes des colonnes à distiller	794
Chauffage des appareils. — Chauffage tubulaire. — Condenseurs et réfrigi- gérants. — Récupérateurs de la chaleur des vinasses. — Ensemble d'une colonne à distiller	794-799
Description de quelques colonnes simples (à bas degré)	801
Colonne Champonnois construite par M. P. Barbet. — Colonne rectan- gulaire de Savalle à bas degré chauffée par barbotage.	801-804
Concentration des vapeurs alcooliques. — Colonnes à distiller à haut degré	806
Colonne à haut degré de Savalle chauffée par barbotage	808
Colonnes à distiller les moûts épais	810
Appareils à moûts épais et à haut degré d'Ilgès	815
Colonne inclinée à circulation libre inobstruable pour moûts épais (Système Emile Guillaume).	819
Colonnes allemandes jumelles à haut degré	823
Colonne à moûts épais et à haut degré avec séparateur d'aldéhyde et séparateur de fusel, de Pampe.	823
Régulateurs de vapeur : Savalle, Christophe, Pampe	827-830
Régulateur genre Savalle à régime variable à la main de M. Guillaume.	830
Régulateur à régime variable et à action directe de M. Guillaume . . .	831
Régulateur Système Wauquier	831
Régulateur automatique d'alimentation du vin	833
Régulateurs d'eau : Savalle, Pampe	835
Régulateur automatique d'arrivée d'eau aux condenseurs et réfrigérants des colonnes à distiller et à rectifier, système Guillaume	835
Eprouvettes.	837
Mise en marche et conduite des colonnes à distiller	838
Dépense de vapeur des colonnes à distiller.	845
CHAPITRE XXXI. — Rectification de l'alcool	844
Appareils de rectification. — Appareils industriels	853-854
Rectificateur Pampe à base pression	856
Rectificateurs discontinus de la Maison Crépelle Fontaine	858
Rectificateur rectangulaire à calottes longues de Savalle	858
Conduite de la rectification discontinue. — Tableau de rectification . .	861-862
Dépense de combustible pour la rectification	863
Purgeur automatique ou retour allemand	864
Rectification continue des alcools. — Rectificateur continu primitif de M. Barbet.	865-868

Rectificateur continu Barbet avec extraction de l'alcool par les plateaux (pasteurisation) et réglage invariable du coulage	870
Rôle du condenseur	877
Colonnes rectificatrices de M. Barbet. Colonne simple ou jumelle	894
Rectificateur continu des flegmes types 1900, de M. Barbet	897
Rectification continue directe des vins ou moûts fermentés sans distillation préalable. — Appareil Barbet	902
Critique des appareils Barbet, par M. Guillaume	908
Distillation-rectification continue de M. Guillaume	910
Critique de cet appareil par M. Barbet. — Rectificateur continu Guillaume	919
Transformation des rectificateurs discontinus en rectificateurs continus système Guillaume	925
Plateau système Guillaume pour colonnes à distiller et à rectifier	927
CHAPITRE XXXIII. — Épuration à haut degré des alcools	931
Critique de l'épuration finale Guillaume (Barbet)	944
Distillation-rectification avec élimination de la totalité des produits de tête comme opération finale	945
Application de l'épuration finale à la rectification continue	954
Rectification continue Guillaume, modèle 1899	957
Critique de l'extraction complémentaire à 93° (Barbet)	958
Colonne à haut degré avec épuration finale Crépelle-Fontaine	968
Nouveau rectificateur continu de Crépelle-Fontaine.	972
Rectificateur continu des vins, système Barbet, type 1900	974
Rectification continue et rectification discontinue. — Freinte	977-980
CHAPITRE XXXIV. — Traitement des alcools par les agents physiques et chimiques.	983
Filtration des alcools sur le charbon de bois. — Revivification du charbon	984
Emploi du charbon en poudre. Dépense de combustible	992
CHAPITRE XXXV. — Distillation et rectification dans la production des eaux-de-vie, du genièvre et du rhum	993
CHAPITRE XXXVI. — Compteurs à alcool. — Compteur Siemens. — Compteur Bedout	997-1003

